



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA.

Unidad Xochimilco.

División de Ciencias y Artes para el Diseño.

Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño.

Nombre del área de concentración: Área 6.

Conservación del Patrimonio

El uso de las nuevas tecnologías para la conservación del patrimonio. Caso de estudio: la Zona Arqueológica de Tikal.

Idónea comunicación de resultados que para obtener el grado de Maestría presenta:

Nombre del alumno: Ivan Said Sainz Arellano

Nombre del tutor: Isabel Rocío López de Juambelz

Fecha: Ciudad de México, 16 de octubre de 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA.
Unidad Xochimilco.
División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño.

Nombre del área de concentración: Área 6. Conservación del Patrimonio

El uso de las nuevas tecnologías para la conservación del patrimonio. Caso de estudio: la Zona Arqueológica de Tikal.

Idónea comunicación de resultados que para obtener el grado de Maestría presenta:

Nombre del alumno: Ivan Said Sainz Arellano

Nombre del tutor: Isabel Rocío López de Juambelz

Fecha: Ciudad de México, 16 de octubre de 2023

Tutor: Dra. Isabel Rocío López de Juambelz

Lector: Mtro. Edgar Fabián Martínez Castillo

Responsable de Área: Dra. Lucía Constanza Cruz Ibarra

Contenido

Resumen	1
Introducción	2
Problemática	5
Pregunta Problema	5
Hipótesis	5
Objetivo general	5
Justificación	6
Capítulo 1. “Las nuevas tecnologías y el patrimonio”	7
Nuevas tecnologías en Arquitectura, Arqueología y Diseño	8
Patrimonio	8
Protección y conservación patrimonial	10
Patrimonio Digital	13
Interpretación del patrimonio digital	16
Enfoque de análisis multiescalar	17
Capítulo 2. “Análisis patrimonial multiescalar mediante nuevas tecnologías”	20
Metodología multiescalar en Tikal	21
Escala regional	22
Levantamiento GPS y gravímetro.....	22
Rasterización.....	22
Sistemas de Información Geográfica.....	23
Escala Urbana	23
Teledetección.....	23
Escala Arquitectónica	24
Aeronave UAV.....	24
Escáner laser.....	24
Modelado 2D CAD.....	25
Modelado 3D Arquitectónico.....	26
Fotogrametría Dron.....	26
Escala Objeto	27
Escaneo 3D.....	27
Modelado 3D.....	28
Escala elemento	29

Fluorescencia de rayo X.....	29
Capítulo 3. “Presentación y análisis de resultados”	31
Resultados obtenidos	32
Conclusiones.....	51
Referencias	53

Resumen

El patrimonio es todo lo que hemos heredado de generaciones anteriores, nos da e identidad, nos ayudan a entender quiénes somos y de dónde venimos, se relaciona directamente con el medio, ya que la cultura de una comunidad se forma en gran medida en función de su entorno natural, y es esencial cuidar ambos para preservar la identidad y la historia de una comunidad. Proteger y conservar el patrimonio es importante para mantener viva nuestra historia y cultura. Las nuevas tecnologías en la conservación del patrimonio brindan la posibilidad de documentar, analizar, generar y compartir información de manera más eficiente, con menor grado de error y con la posibilidad de conservarse sin degradación, pero tienen la desventaja de que el resultado final es un objeto digital descontextualizado, por lo que implementar una metodología de análisis multiescalar permitirá dar respuesta a esta problemática, además de ordenar jerárquicamente los procesos y métodos para la obtención de información, sin perder el vínculo entre tecnologías ni escalas.

Generar esta metodología de análisis multiescalar mediante el uso de nuevas tecnologías en Arqueología, Arquitectura y Diseño y aplicarla en la Zona Arqueológica de Tikal como caso de estudio, permitirá conservar su patrimonio natural y cultural, tangible e intangible; por medio de identificar la relación cultura - ambiente existente en el sitio, en sus escalas regional, urbana, arquitectónica, objeto y elemento; y así comprender el diseño de éste, el uso de los recursos, los procesos de adaptabilidad y apropiación al espacio, la habitabilidad y su estructura social.

Palabras clave: patrimonio, tecnologías, escala, cultura, medio ambiente.

Autorizo resumen: Isabel Rocio López de Juambelz

Introducción

El patrimonio comienza con la tierra que sostiene nuestros pies al caminar, que soporta el quehacer de la comunidad, que otorga los recursos para la existencia y expresión.

Patrimonio es un concepto que día con día adquiere mayor relevancia, cuyo acercamiento se entiende desde diversos enfoques e intereses, por lo que se ha convertido en tema de estudio para distintas disciplinas (López de Juambelz & Sainz A., 2017). El fenómeno del patrimonio involucra diversos aspectos que van desde el arquitectónico y arqueológico en su dimensión espacial y que no puede sustraerse del ambiente que lo sustenta, al igual que de los factores antropológicos y culturales, a través de los que comprendemos el aprovechamiento, transformación y apropiación que las poblaciones hacen de los recursos y que hoy en día entendemos como patrimonio heredado de las comunidades humanas que nos antecedieron. La comprensión del patrimonio, por su naturaleza, necesita de la asociación de conocimientos naturales, culturales y antropológicos (Gell - Mann, 1994) a través de diferentes escalas e iniciar por entendimiento del comportamiento ambiental, ya que la naturaleza otorga los recursos e impone los retos para el desarrollo de una civilización (López de Juambelz, 2017).

El estudio del patrimonio entonces debe partir del estudio de las características naturales que le sustentan, ya que el hombre tiene la necesidad, la naturaleza brinda la posibilidad¹, que el hombre utiliza, en cuanto al conocimiento que tenga sobre ésta² y a su voluntad que se manifiesta en relación con sus impulsos, deseos y fines³. Razones que fundamentan, en el estudio del patrimonio, que la naturaleza no sólo explica la existencia, sino también las causas del deterioro, por lo que en la intervención es indispensable tomar en cuenta las variables ambientales, para que las propuestas no terminen por agredir lo que se quiere conservar (López de Juambelz R. , 2015).

¹ Textos de la Tesis Doctoral de K. Marx *Diferencia entre la filosofía de la naturaleza de Demócrito a Epicuro*, 1841.

² A partir de V. Lenin en *La cuestión agraria y de la crítica de Marx*, 1928

³ Anotaciones de G. Hegel a partir de la *Fenomenología de espíritu* y la *Filosofía de la naturaleza*, 1807.

La investigación propuesta pretende definir, a partir el uso de nuevas tecnologías de investigación mediante la metodología de análisis multiescalar, la relación que existe entre el paisaje, la expresión arqueológica y el diseño, esto con la finalidad de generar un método novedoso para el estudio y conservación del patrimonio, que funja como pionero en su tipo y pueda ser utilizado en futuras investigaciones. Seleccionando para ello a la ciudad de Tikal, ya que sobresale en la cultura del pueblo maya prehispánico, por su historia, textos glíficos y arquitectura, ya que son los templos más altos de toda Mesoamérica, nunca superados en altura, ni excelencia constructiva por ninguna otra ciudad de la época prehispánica⁴.

Parece ser que el nombre “Tikal” fue dado al sitio en la mitad del siglo XIX y se interpreta como “el lugar de las voces”; sin embargo, recientemente los epigrafistas han sugerido que el nombre original fue Mutul o Motul.⁵

La ciudad consta de más de 4000 estructuras, se ha calculado que el área nuclear del sitio ocupaba una superficie de alrededor de 16 km² y que llegó a tener una población de 90 000 habitantes, si se toman en cuenta las zonas rurales, durante el periodo Clásico Tardío (600 a 800 dC). La ocupación del lugar duró aproximadamente 1700 años, inició en el Preclásico Medio (ca. 800 aC) y terminó en el Clásico Terminal (ca. 900 dC)⁶.

Se encuentra en el norte del Departamento de Petén en la República de Guatemala. La ciudad se ubica cerca del Lago Petén Itzá, a 587 km al noreste de la capital, esta región se conoce como Tierras Bajas mayas. La zona arqueológica se encuentra dentro del Parque Nacional Tikal (PANAT) que cubre una superficie de 576 km² y se emplaza sobre una extensa zona geológica de caliza que no sobrepasa los 600 metros sobre el nivel del mar y que se extiende desde la parte sur del Petén hasta el norte de la Península de Yucatán.

Las investigaciones que se han realizado en Tikal comienzan en 1848, Ambrosio Tut, acompañado por el dibujante Eusebio Lara, encabezó la primera expedición a

⁴ (Morselli Barbieri, Comunicación personal, 2021)

⁵ (Álvarez, 1997)

⁶ (Morselli Barbieri, 2013)

la ciudad. Las primeras exploraciones sistemáticas del sitio las llevó a cabo Alfred Percival Maudslay en abril de 1881 y abril de 1882, enviado por la Royal Geographic Society de Londres, los resultados de las dos expediciones fueron publicados de manera conjunta por el Museo Peabody en 1911.

A partir del 1956 se inició una nueva época de estudio, cuando el Museo de la Universidad de Pennsylvania empezó una larga serie de excavaciones bajo la dirección del entonces director del Tikal Project, Edwin Shook. William Coe y George Guillemin fueron los siguientes directores del proyecto que duró trece años y cuyos resultados fueron publicados en varios Tikal Reports. En 1979 el gobierno guatemalteco inició el Proyecto Nacional Tikal dirigido por Juan Pedro Laporte⁷, hasta 2008 y Marco Antonio Bailey. En 1992 el gobierno guatemalteco suscribió un acuerdo de colaboración con la Agencia Española de Cooperación Internacional para la conservación y re consolidación de varios edificios, dicha colaboración terminó en 2011⁸.

En 2005 un equipo de la Universidad de California, Berkeley, viajó a Tikal en Guatemala, para demostrar las ventajas de las técnicas de documentación digital y cómo podrían aplicarse al Templo IV, uno de los edificios más altos y voluminosos del mundo maya. El equipo de expedición completó un estudio con fotografía digital y escaneo láser para respaldar la evaluación del estado y las actividades de restauración.

Desde el 2016 la fundación Patrimonio cultural y Natural Maya PACUNAM ha realizado investigación en parque nacional Tikal mediante tecnología de detección remota basada en láser y mapeo tridimensional conocida como LiDAR, se ha escaneado el área de 2000 km², y el primer informe de los datos resultantes, publicado en la revista Science a fines de 2018, reveló más de 61,000 estructuras aún escondidas debajo de la selva guatemalteca. Las implicaciones de su presencia han cambiado el conocimiento sobre la ciudad, su propósito y su gente.

⁷ (Laporte, 1988)

⁸ (Morselli Barbieri, 2013, pág. 26)

Estas últimas investigaciones demuestran la importancia del uso de las nuevas tecnologías para el análisis y conservación del patrimonio, aunque se centran únicamente en una sola escala de investigación ya sea arquitectónica o urbana, lo que limita la comprensión del fenómeno patrimonial de Tikal en su totalidad.

Problemática

En la actualidad el patrimonio tiende a desaparecer con el paso del tiempo, como respuesta a esto, se ha optado por digitalizarlo. La mayor parte del patrimonio digital consiste solo en la representación digital de un objeto, sin tomar en cuenta todo el contexto que dio sus características específicas. Esto se ve reflejado directamente en la interpretación y entendimiento de cada usuario final, haciendo que el interés y la identidad con dicho patrimonio sea escasa.

Pregunta Problema

¿Qué método permite una identificación integral que conlleve a la comprensión y conservación permanente del patrimonio de una cultura?

Hipótesis

Si el patrimonio es el resultado colectivo de lo que identifica a una sociedad basada en las posibilidades que otorga el contexto ambiental, su expresión a través de la arquitectura, objetos, contexto, valores, significados tangibles e intangibles que dan sentido a la cultura que tienden a desaparecer en el devenir del tiempo. Entonces las nuevas tecnologías capaces de integrar el conjunto de componentes en diferentes escalas de acercamiento; permitirá la concatenación de elementos que conlleven al correcto entendimiento y con esto, la conservación integral y permanente del patrimonio.

Objetivo general

Analizar mediante el uso de nuevas tecnologías en Arqueología, Arquitectura y Diseño la zona arqueológica de Tikal en sus diferentes escalas, con la finalidad de demostrar la relación existente entre cada una de ellas y brindar una nueva forma de conservación patrimonial.

Justificación

El patrimonio son monumentos, colecciones, archivos, o prácticas que una sociedad hereda de su pasado, y que pretende conservar y transmitir a las generaciones futuras, pero toda materia tiende a desaparecer gradualmente, a envejecer, a disolverse, desintegrarse, por lo que su preservación depende de métodos de conservación específicos y condiciones físicas adecuadas. Por otra parte, en el patrimonio digital la supervivencia de un documento no depende de cuanto dure el medio que lo contiene, sino la capacidad que tiene ese documento para ser transferido de un medio a otro con la mayor frecuencia posible, mientras mayor sea la transferencia mayor es la garantía de la supervivencia permanente de este.

Capítulo 1. “Las nuevas tecnologías y el patrimonio”

En este capítulo se aborda lo que son las nuevas tecnologías para el levantamiento, análisis y generación de información patrimonial; se explica la evolución del concepto patrimonio desde su origen hasta la actualidad, se menciona como surge la necesidad de la conservación patrimonial y como ésta da pie al concepto de patrimonio digital, el cual tiene beneficios y limitaciones, donde la que más destaca de ellas es la interpretación que recibe por parte del usuario. Se muestra porqué el análisis multiescalar puede dar respuesta a las problemáticas del fenómeno patrimonial mediante el uso de nuevas tecnologías estudiando todas las escalas de información que intervienen en el fenómeno patrimonial y así favorecer la conservación del mismo.

Nuevas tecnologías en Arquitectura, Arqueología y Diseño

Se conocen como nuevas tecnologías a las herramientas, metodologías, y técnicas digitales que emergen de los laboratorios académicos, gubernamentales e industriales y ofrecen una nueva esperanza para la tarea a menudo laboriosa y compleja del estudio arqueológico, arquitectónico e histórico para la conversación, educación y difusión del patrimonio material (Addison, 2000). El creciente desarrollo de tecnologías, interfaces, técnicas de interacción y dispositivos digitales ha mejorado el acercamiento y usabilidad del patrimonio en forma digital, proporcionando modos de interacción y elementos de motivación naturales y evidentes. Esto ayuda a las instituciones de educación formal e informal, como museos, centros culturales e investigación; a adoptar nuevas tecnologías, digitales y avanzadas para respaldar las transacciones desde los laboratorios hasta el ámbito público. Estas nuevas tecnologías proporcionan los medios para documentar, recuperar y presentar elementos del patrimonio.

El patrimonio es historia, huellas tangibles e intangibles de un pasado tan antiguo como la propia humanidad, legado de generaciones pasadas a aquellas otras venideras en un mecanismo recurrente y acumulativo (López de Juambelz, Sainz, 2017). El patrimonio hace que un grupo humano se sienta identificado con su historia y cultura, lamentablemente este tiende a degradarse y desaparecer a lo largo del tiempo, por eso las nuevas tecnologías pueden ayudar a dar respuesta a este problema, generando patrimonio digital permanente, con el que cada usuario se sienta identificado.

Patrimonio

A partir de la idea de propiedad, que sigue existiendo de la misma forma que lo hacía hace 2000 años desde la época romana es que entendemos el patrimonio como:

“El concepto patrimonio es polisémico y ha experimentado un continuo proceso de deconstrucción y construcción” (Hernández Cardona, 2003), el termino *patrimonium*, se refiere a una propiedad privada heredada. Hoy en día, nuestro concepto de beneficiario es el que se ha visto realmente modificado. Debido a la

creciente globalización que nos envuelve, ahora toda la humanidad se ve beneficiada por esa rica herencia.

En las sociedades antiguas, el patrimonio y la propiedad presentan un significado distinto al actual (Monterroso,2001: 35). El sentido actual de patrimonio nace como un retoño más de la modernidad ilustrada del siglo XVIII, (García, 2012: 21), (Choay, 2007: 100) con él, emergen conceptos como el de cultura, descrita como “el conjunto de modelos o patrones, explícitos o implícitos, mediante los cuales una sociedad regula el comportamiento de las personas que la integran; Que abarca costumbres, prácticas, códigos, normas y reglas de la manera de ser, vestimenta, religión, rituales, comportamiento y sistemas de creencias” (García, 2012: 15).

Es a partir de la revolución francesa, cuando derechos como la propiedad adquieren una dimensión y un significado mucho más universal y accesible. Imbuidos por esta nueva idea de pertenencia, patrimonio y cultura se convierten en una realidad cada vez más indisoluble.

Con la llegada del siglo XIX y la proliferación del nacionalismo romántico, la idea de propiedad y con ella del patrimonio, quedan contenidas dentro del marco geográfico y político del propio Estado. Durante esta época se produce una importante evolución de las políticas y de las figuras de protección patrimonial.

Finalmente, en el siglo XX, tras el desastre a nivel patrimonial que supuso la Primera, pero sobre todo la Segunda Guerra Mundial, se experimenta un verdadero cambio en torno a la concepción del patrimonio (López de Juambelz, Sainz, 2017). La creación de la Sociedad de Naciones, el 24 de abril de 1919, durante la Conferencia de París, supuso un conveniente punto de inflexión a este respecto. Auspiciado por toda una serie de reuniones, documentos y organizaciones de carácter internacional, el patrimonio deja de ser posesión de estados y países concretos, para convertirse en una propiedad universal, usufructo de todos los seres humanos, tal y como se explicita en la Carta de Venecia (ICOMOS, 1964: 1).

Protección y conservación patrimonial

A pesar de nuestra aparente racionalidad, el ser humano no deja de ser un animal que se mueve por la constante necesidad de autosatisfacerse. En este sentido, las necesidades humanas deben ser entendidas como algo finito y clasificable y no, como un elemento ilimitado y potencialmente variable. En esta línea, Manfred Max-Neef traza una clasificación de las necesidades inherentes al ser humano y las divide en existenciales y axiológicas. En estas últimas, hace referencia a las necesidades de protección e identidad, las cuales se satisfacen con una infinidad de mecanismos. Sin embargo, al combinarse protección e identidad, las posibilidades de consecución se restringen. Proteger nuestra identidad, precisa de satisfactores específicos, y es aquí, donde el patrimonio juega un papel de especial relevancia. (Max-Neef et al., 2008).

El gregarismo que nos identifica como especie, requiere de fuertes pilares sobre los que asentarse. En este aspecto, el patrimonio, tanto tangible como intangible, se convierten en una herramienta perfecta para consolidar una idea de identidad que se mantenga en el tiempo. La identidad requiere de la pervivencia de lazos empáticos que soporten el desarrollo cultural.

La búsqueda, por tanto, de un sentimiento de propiedad supranacional, de pertenencia a un colectivo que trascienda las fronteras del Estado, pasa por la necesidad real de conservar y proteger un acervo patrimonial en constante crecimiento. Y es especialmente por este motivo, que la protección del patrimonio como generador de identidad, debe ser entendida no sólo como una vaga responsabilidad, sino como una de nuestras prioridades y necesidades más esenciales.

Esta necesidad de identidad legitima los sentimientos de animadversión y destrucción hacia el patrimonio (Matthiae, 2015: 55;). Una forma errónea y desesperada de heterogeneidad que presupone la destrucción del pasado material e inmaterial como forma de independencia identitaria y/o cultural. (Settis, 2007: 120) Efectivamente, episodios que con tanta frecuencia han sido documentados en la

antigüedad, como es el caso de la *damnatio memoriae*, no entrañan necesidades diferentes, sino satisfactores distintos. Una forma tan terrible como real de proteger la identidad, motivada por una idea errónea y circunscrita de propiedad. Destruir para proteger (Matthiae, 2015).

El Papa Martín V (1417-1431) es uno de los primeros en preocuparse por la salvaguarda del patrimonio (García, 2012, Benavides, 2017). Años más tarde, en 1462 el Papa Pío II promulga la bula *Cum aliam nostram urbem*, escrito donde en forma explícita aboga por la protección de estos “testimonios irremplazables del pasado”⁹. A partir del siglo XV existen indicios que hacen referencia a la custodia del patrimonio. Sin embargo, debemos entender este satisfactor como algo casi tan antiguo como la propia necesidad de identidad y, sobre todo, no circunscribirlo a un ámbito geográfico concreto (Benavides, 2017.).

Europa en el siglo XVIII parece suponer un punto de inflexión a este respecto; en la Francia de 1789, comienza a desarrollarse un creciente interés por la conservación del patrimonio estatal y se emiten las primeras políticas de conservación patrimonial en el ámbito europeo (Choay, 2007: 26; García, 2012: 21; Sire, 1996: 74). Otro ejemplo de esta nueva sensibilización es el texto titulado *Antiquités nationales ou Recueil de Monumens*, publicado en 1790 por Aubin-Louis Millin de Grammaison (1759-1818) que es un inventario o catastro patrimonial donde aparece por primera vez el término de monumento histórico, entendido no solo como edificios, sino también como objetos, estatuas o tumbas; elementos ligados a la historia nacional y al pasado común de Francia (García, 2012: 22).

En el siglo XX ocurre la internacionalización del patrimonio, su conservación y gestión. En definitiva, el patrimonio se convierte en una necesidad que no debe satisfacerse desde un punto de vista regional. En 1949, Fernand Braudel, en su obra *El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II* reconstruye

⁹ En esta bula Pío II definía los monumentos como “vestigios de la Antigüedad y testimonios irremplazables del pasado y que debían conservarse por dos razones: para que las generaciones venideras pudiesen disfrutar de la grandeza y dignidad de la ciudad (idea de herencia común) y para que los monumentos transmitiesen a la ciudadanía los valores morales de quienes los construyeron y recordasen la fragilidad de las empresas humanas (criterios morales)” (García, 2012: 20).

la historia del Mediterráneo con base en tres regímenes temporales diferentes. Por un lado, la “Larga Duración”, una realidad temporal que corresponde a las estructuras de gran estabilidad a lo largo del tiempo histórico (Braudel, 1987: 17). “La Coyuntura” designa un nivel del tiempo histórico intermedio, entre la larga duración y los acontecimientos puntuales (Braudel, 1987: 787). Por último, el “Acontecimiento” referido a la corta duración, “el efímero polvo de la Historia que cruza su escenario brilla un momento, para inmediatamente volver a la oscuridad y tal vez al olvido” (Braudel, 1987: 335).

De forma similar se entiende la protección del patrimonio, como una estructura global, que se divide en coyunturas intermedias que, a su vez, dependen del acontecimiento presente; una realidad que debe partir de cada persona con el objetivo de alcanzar una escala globalizada. La conservación del patrimonio hoy en día es un aspecto mediante el cual adquirimos conocimiento sobre nuestros ancestros, método de producción y forma de vida.

El rápido desarrollo de nuevas tecnologías permite la reproducción cada vez más fiel del patrimonio tanto tangible como intangible, que se preserva para las generaciones venideras. El acto deliberado de conservar el patrimonio del presente para el futuro se conoce como preservación y actualmente se utiliza en museos, centros culturales, investigación científica, educación y difusión entre otros (Logan, 2007). Las nuevas tecnologías son la posibilidad para acceder a elementos del patrimonio que son difíciles de alcanzar en el mundo real. La preservación atañe a los siguientes campos de estudio: documentación, protección, reconstrucción, restauración, conservación, difusión y divulgación, coincidentes con los dominios del patrimonio digital.

La documentación está relacionada con el almacenamiento de varios tipos de información. La protección se define como acciones contra daños, destrucción u otra pérdida de patrimonio. La reconstrucción es un proceso de visualización de objetos patrimoniales para su mejor comprensión. La restauración es un conjunto de actuaciones que incluyen las siguientes tareas: liberación, integración y reposición de elementos, reconstrucción, retoque y relleno. La conservación trata

de extender la vida del patrimonio mientras se fortalece la transmisión de sus mensajes y valores patrimoniales significativos (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2023). La difusión se refiere a la representación y visualización de objetos patrimoniales, tangibles e intangibles utilizando tecnología moderna (Bercigli, 2019); a través de la cual un grupo amplio de destinatarios puede acceder al patrimonio y familiarizarse con él. Hay un aumento notable en la importancia de las nuevas tecnologías en diversos campos de la ciencia. En el estudio del patrimonio y la cultura se incluyen escaneo 3D, fotogrametría, sistemas de información geográfica, teledetección, modelado 3D, y realidad mixta, que se utilizan para realizar presentaciones virtuales de monumentos y artefactos antiguos. Los sistemas de captura de movimiento 3D, 4D permiten registrar la forma de realizar las actividades, su consolidación y presentación para las generaciones posteriores.

A menudo, las tecnologías digitales, como las audiovisuales se combinan con técnicas 3D para una mejor presentación de los elementos de la cultura. Es posible registrar bailes nacionales en sus secuencias sucesivas, realizar artesanía tradicional, pasar la narración de cuentos, eventos antiguos o el conocimiento sobre la construcción en la antigüedad. A pesar de su inmaterialidad, estas tecnologías permiten preservar este tipo de cultura y patrimonio.

Patrimonio Digital

En esta era digital, cada vez más recursos culturales y educativos del mundo se producen, distribuyen y acceden en forma digital. Están surgiendo nuevas formas de expresión y comunicación. Usando computadoras, nuevas tecnologías y herramientas digitales, las personas están creando y compartiendo recursos. Se están documentando creencias locales, historia oral, prácticas, mitos y costumbres tradicionales; la información, expresión creativa, ideas y conocimiento que las personas valoran y comparten a lo largo del tiempo y espacio se codifican para su procesamiento informático.

De acuerdo con la Carta de la UNESCO para la “Preservación del Patrimonio Digital (2003)”; El “patrimonio digital” ha sido definido como “recursos únicos de

conocimiento y expresión humana”. Abarca los recursos culturales, educativos, científicos y administrativos, así como la información técnica, legal, médica y de otro tipo creada digitalmente o convertida en recursos analógicos existentes en forma digital. De esta manera, el campo del patrimonio digital es amplio y cualquier forma de contenido digital, ya sea 2D o 3D, se clasifica bajo la rúbrica de patrimonio digital.

Los objetos del patrimonio digital desde el punto de creación, pueden ser de dos tipos: nacidos digitalmente y sustitutos digitales (Parry, 2007 : 68). El “nacido digital” ha sido identificado por la UNESCO como aquel tipo del cual “no existe otro formato que el objeto digital”. Por lo tanto, cualquier contenido del patrimonio digital creado a través de medios o herramientas digitales sin ninguna referencia a recursos analógicos se define como "nacido digital". Ejemplos de contenidos patrimoniales “nacidos digitales” son las revistas electrónicas. De esta manera, los nacidos digitales no tienen padres de los que sean una manifestación digital, sino que ahora se han convertido en parte del patrimonio cultural mundial. Por otro lado, el "sustituto digital" es una copia capturada de un objeto original o existente con fines de conservación, representación o investigación. Las imágenes capturadas, los objetos escaneados en 3D, el video digital de un ritual son algunos de estos objetos sustitutos digitales.

El patrimonio digital tiene tres dominios principales:

- (I) documentación: desde la inspección del sitio hasta la epigrafía
- (II) representación: desde la reconstrucción histórica hasta la visualización
- (III) difusión: desde mundos inmersivos en red hasta realidad aumentada *in situ* (Addison, 2000).

Uno de sus principales objetivos es difundir el conocimiento de la historia y la cultura a la población en general (Tost y Champion, 2007, Roussou et al., 2008).

En cualquier entorno de patrimonio digital los usuarios finales interactúan principalmente con la información, a la que se accede, manipula o crea durante la interacción para lograr objetivos específicos a través de medios como computadora u otros dispositivos periféricos.

La experiencia y el aprendizaje del contenido existente u ofrecido dependen en gran medida de los antecedentes tanto de los medios como de los usuarios finales. Una persona ciertamente hereda una formación cultural, técnica y cognitiva específica que es única para los demás. De acuerdo con la psicología cognitiva, la creación de significado en nuestra mente es un proceso complejo y sigue una serie de pasos que dependen predominantemente de las capacidades del individuo, su percepción visual, atención, memoria, aprendizaje y modelo mental (Preece et al, 1993).

Por lo tanto, no son solo los medios, sino también los antecedentes, en el sentido de la percepción, conocimiento técnico, capacidad de aprendizaje, interés e ideología de los usuarios finales influyen en la reacción e interpretación del contenido. (Marsh y Wright 2001, Tost y Champion 2007.)

Además, el patrimonio no es sólo "tangibilidad o materialidad"; también incluye los atributos culturales y socioespaciales que están relacionados con el entorno construido. Para comprender el significado inherente de un sitio del patrimonio cultural, la mera observación o navegación a través de un modelo virtual en 3D es insuficiente. Dado que el patrimonio digital trata de artefactos culturales, las diferencias demográficas influyen en el juicio de valor; lo que vemos, nuestra mente orientada a conceptos nos lo cuenta, no solo a través de nuestros ojos, sino también de nuestras experiencias previas que filtran el significado percibido (Preece et al., 1993). La experiencia y la interpretación de los artefactos y paisajes prehistóricos dependen en gran medida de nuestra propia encarnación, subjetividad y posicionamiento cultural (Thomas, 2004). Por lo que, el contenido sin relacionarse directamente con la forma en que percibimos el mundo no imparte ningún significado; más bien causa "disonancia de la herencia" o "desherencia" (Tunbridge y Ashworth, 1996: 21).

Sin embargo, en la mayoría de los casos, los proyectos de patrimonio digital se desarrollan como una ocurrencia tardía de algún trabajo de investigación o como demostración de una nueva tecnología (Gillings, 2000), mientras que los contenidos a menudo se crean de manera "descriptiva" en lugar de "interpretativa" (Affleck y Kvan, 2008). Estos proyectos se centran en el proceso de recopilación y

autenticación de datos o en la presentación fotorrealista y la aplicación de nueva tecnología, pero rara vez consideran la percepción del contenido por parte de los usuarios finales (Tan y Rahaman, 2009). En consecuencia, la 'interpretación' siempre se ha entendido como un proceso lineal, "un punto de vista único y universal sobre el pasado", asumiendo que todos deben aprender y comprender de manera similar (Thornton, 2007: 305). Sin embargo, en realidad, el pensamiento y la reacción de todos ante la acción y situación son únicos y simplemente no es posible reproducir eventos exactamente como "reales" en ningún sentido (Kaptelinin y Nardi, 2006). Por lo tanto, en la mayoría de los casos, los proyectos de patrimonio digital rara vez abordan la singularidad cultural, la variedad en la percepción y la presencia de disonancia patrimonial entre los usuarios finales.

Interpretación del patrimonio digital.

La interpretación es un acto o proceso que la historia, arqueología y conservación del patrimonio consideran como una herramienta de aprendizaje, comunicación y gestión que aumenta la conciencia y la empatía de los usuarios hacia el sitio u objetos patrimoniales. A menudo se ha considerado que la interpretación indica historias, adaptadas para ayudar a los usuarios a involucrarse y comprender patrimonio. El Oxford Advanced Learner's Dictionary (2009,: 711) define la interpretación como "la forma particular en que se entiende o se explica".

La interpretación del patrimonio para el público puede ser de manera personal o guiada, usando una variedad de herramientas como información impresa y oral, o usando medios, como imágenes, películas, multimedia interactiva y realidad virtual. La interpretación depende de la cultura, contexto y experiencia de cada persona. El fenómeno de la interpretación es individual por lo que Freeman Tilden (1977), considerado el "padre de la interpretación del patrimonio", propone pautas para relacionar a los usuarios con los contextos interpretativos; para lo cual sugiere seis principios básicos que conllevan a una interpretación efectiva.

1. La interpretación debe relacionar el fenómeno descrito con la experiencia del visitante.

2. La información no es la interpretación. La interpretación es revelación basada en información y toda interpretación nace de la información.

3. La interpretación es un arte multidisciplinaria, por lo que los materiales presentados pueden ser comprendidos sin importar que combinen diversas disciplinas en un solo resultado.

4. El objetivo de la interpretación no es la instrucción sino la provocación.

5. La interpretación debe presentar un todo en lugar de una parte.

6. La información dirigida a los niños no debe ser una dilución de la presentada a los adultos y sigue un enfoque diferente y se realiza bajo un programa distinto.

Basándose en los puntos anteriores, para generar una correcta interpretación es indispensable primero que el estudio, análisis y conservación patrimonial se realice de manera interdisciplinaria tomando en cuenta desde sus diferentes escalas todos los aspectos que influyen en él. Por lo que una manera eficaz de presentar el patrimonio en un contexto integral es a través del uso de nuevas tecnologías con enfoque multiescalar.

Enfoque de análisis multiescalar.

El análisis multiescalar se utiliza en diversos campos científicos y académicos, como física, química, biología, geología, ecología, sociología e ingeniería, entre otros; (Gao, 2022) con la finalidad de demostrar la interacción e interrelación que existe entre ellos.

Este enfoque de análisis se basa en los niveles de organización, que se refieren a una jerarquía estructural utilizada para describir y comprender la organización de los sistemas, desde los niveles más simples hasta los más complejos (Brooks, et al, 2021). Estos niveles permiten entender los cambios graduales de complejidad, ya que van de lo simple a lo complejo; aunque aquí es importante indicar que cada nivel tiene su propia complejidad y que no es comparable con otro nivel; proporcionan un marco conceptual que permite analizar y comprender cómo los componentes de un sistema interactúan entre sí. Los niveles de organización

permiten establecer límites, ordenar conceptos y estudiar sistemáticamente cualquier fenómeno (Gama, 2004: 39).

Actualmente se considera de gran utilidad en la investigación cualitativa y cuantitativa el acercamiento a los fenómenos a través de múltiples escalas (Yin, 2011) que permite entender las dinámicas de lo local a lo global (Brenner, 2018), destacando cómo las fuerzas globales pueden influir en procesos regionales y locales (Harvey, 2015), enfatizando que las interacciones entre organismos y su entorno pueden variar a diferentes escalas espaciales y temporales. (Beedle, 2007).

Desde el punto de vista patrimonial, implica considerar y analizar aspectos físicos, ambientales y culturales a diversas escalas desde un enfoque interdisciplinario (El-Qady, Margottini, 2023), Las decisiones para la conservación integral de los bienes naturales y culturales de un lugar patrimonial deben basarse en la información sobre la autenticidad de éste, que implica el conocimiento del recurso natural y la utilización que la cultural hace y así heredar a las generaciones futuras la idea íntegra de la existencia de éste patrimonio, que conlleva al conocimiento de su materialidad, saberes y materiales implicados.

Comprender el fenómeno cultural a partir de lo natural, permite reconocer la interconexión entre la cultura y el entorno y la influencia de estos recursos en el desarrollo de la cultura (López de Juambelz, 2008), esto abarca desde las prácticas cotidianas de subsistencia hasta las creencias espirituales y decisiones políticas, así como la afectación que las prácticas culturales imprimen en el ambiente.

Enfoque que se ha abordado desde diferentes perspectivas en campos como la antropología, ecología, economía entre otros, de donde surgen conceptos específicos que explicitan la relación cultura – ecología. Un ejemplo de esta, desde la óptica de la antropología, se describe en el trabajo realizado en las Islas Trobriand, donde se enfatiza como concepto la Observación Participante que muestra la correlación entre las prácticas culturales, las necesidades existenciales y las condiciones del entorno natural (Malinowski, 1922).

Otro concepto aplicable a la presente investigación es Interpretación Densa (Geertz, 1973), donde argumenta que la observación y la interpretación de las prácticas culturales deben tener en cuenta su contexto natural y social de donde surgen el sistema de significados simbólicos.

Desde la óptica economicista se propone el Materialismo Cultural donde se explica que las respuestas racionales a problemas ecológicos y económicos de una cultura son en función de la disponibilidad de recursos naturales (Harris, 1974). La forma en que las sociedades interactúan con el medio se ve influenciada por las fuerzas económicas y políticas (Harvey, 1996).

Abordar el fenómeno patrimonial mediante la intrínseca relación existente entre cultura y naturaleza permite comprender las posibilidades y limitaciones que brinda el medio, así como los procesos de adaptación por parte de población hacia éste (Ingold, 2000). No sólo el patrimonio tangible puede ser comprendido a través de la relación que se establece con la naturaleza, sino que también explica el patrimonio intangible, arraigado en la cosmovisión que define la creencias, mitos y prácticas culturales establecidos en una cultura (Nelson, 1983).

Capítulo 2. “Análisis patrimonial multiescalar mediante nuevas tecnologías”

Este capítulo corresponde a la metodología que se utilizó para la conservación patrimonial en la zona de estudio. Comienza describiendo las cinco escalas de trabajo y análisis propuestas en la metodología de multiescalar. Posteriormente describe cada una de las nuevas tecnologías, el procedimiento paso a paso, el equipo utilizado y de qué manera cada una de las nuevas tecnologías se vincula con la otra en las diferentes escalas de información.

Metodología multiescalar en Tikal

La interacción que ocurre entre la sociedad y su medio resulta una óptica adecuada para el caso de estudio que se aborda en esta investigación que tiene por objeto la comprensión del fenómeno patrimonial de Tikal.

La relación que se establece entre la cultura de Tikal y su territorio es una compleja interconexión de elementos culturales, naturales e históricos cuyo estudio obliga al análisis integral y multiescalar del sitio arqueológico de este emplazamiento urbano y sus elementos en diferentes escalas de tiempo y espacio que dan lugar al Parque Nacional Tikal (1955), declarado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad Mixto (1979) y denominada Reserva de la Biosfera Maya por la red mundial de reservas de la biosfera (1990).

EL análisis de este sitio a través de la interrelación que ocurre entre las diversas escalas es posible mediante las nuevas tecnologías y comienza con la escala regional, donde se observa la adaptación de la población de Tikal a las variables ambientales iniciando con la topografía, esencial en la construcción de la antigua ciudad maya. La escala urbana permite comprender la compleja organización de las estructuras religiosas, administrativas y residenciales de Tikal, así como entender la relación de cultura con el medio. En la escala arquitectónica se refleja la importancia de la ciudad como un centro político, religioso y cultural en la civilización maya; la magnitud de las estructuras y la calidad de la arquitectura son un testimonio del nivel de sofisticación alcanzado por los antiguos mayas en la planificación y construcción de su ciudad. La escala objeto, proporciona una ventana a la vida cotidiana de esta civilización, permite entender la tecnología, materiales, herramientas, procesos constructivos en la zona a los que tienen acceso, así como la manera en que heredaban estos conocimientos a sus hijos. Finalmente, la escala elemento se refiere al estudio detallado de los componentes de materiales y artefactos del sitio. Esta forma de acercamiento multiescalar conlleva a la comprensión profunda de la expresión de la sociedad a través de la cultura de la civilización maya que habitó Tikal.

Escala regional

Levantamiento GPS y gravímetro

El levantamiento de información mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se basa en la trilateración, dando los valores de distancia entre un sensor de referencia y cuatro o más satélites GPS (Van Sickle, 2008). Lo que proporciona información exacta sobre las coordenadas de latitud y longitud sin importar las condiciones meteorológicas, en cualquier lugar de la Tierra donde haya una línea de visión sin obstáculos entre el sensor y los satélites.

El Gravímetro es un instrumento con la capacidad de medir las variaciones en el campo gravitacional de la tierra mediante la detección de diferencias en el peso de un objeto de masa constante en diferentes puntos de la superficie terrestre. En la geodesia es utilizado para conocer los datos de altitud de un punto en específico (Torge, Müller, 2012).

Para realizar el levantamiento GPS gravimétrico se utilizó el equipo Trimble R8S para la obtención de 12 puntos de control en el sitio de estudio mediante el método estático, generando las coordenadas de latitud y longitud, el dato de altitud se obtuvo con el equipo Scintrex CG 6 configurado a 2 ciclos de trabajo por punto de control. Posteriormente los datos se post procesaron mediante el software Autodesk Civil 3d 2023 importando los puntos de control, refrenciandolos espacialmente para lograr crear el sistema de coordenadas de la zona de estudio.

Rasterización

Es la técnica empleada para convertir los códigos contenidos en un archivo en formato de imagen digital o formato de documento portátil (PDF) en una imagen bidimensional (2D) en formato de gráficos vectoriales, en el que las características de líneas, formas, etc. se definen mediante fórmulas matemáticas en un conjunto de píxeles individuales (Tosiyasu, 2013). Según el tipo de objetos utilizados en un documento, el proceso de rasterización de a veces se puede acelerar mediante el uso de hardware de gráficos, de la misma manera que se calculan los gráficos tridimensionales (3D).

Para este proceso se digitalizaron a formato PDF 9 cartas topográficas impresas escala 1 : 250000 correspondientes a la zona del Peten Guatemalteco, y mediante el uso del software Autodesk Autocad 2023 se rasterizaron mediante la creación de polilíneas de cada curva de nivel en formato 2D con intervalos de 100 metros y posteriormente otorgarles valor 3D altitudinal, finalmente se referenciaron al sistema de coordenadas obtenidos mediante el levantamiento GPS gravimétrico y así obtener el plano topográfico en formato vectorial.

Sistemas de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que crea, administra, analiza y mapea todo tipo de datos. Conecta datos a un mapa, integrando valores de ubicación con todo tipo de información descriptiva (Mesev, 2007). Esto proporciona una base para el mapeo y el análisis que se utiliza en la ciencia y en casi todas las industrias. Los SIG ayuda a los usuarios a comprender patrones, relaciones y contexto geográfico

Para este proceso, utilizando los datos obtenidos a través del levantamiento GPS gravimétrico, en el software ArcGis PRO, se generó el sistema de referencias en un nuevo espacio de trabajo, posteriormente importando el plano topográfico en formato vectorial se creó el modelo de elevación digital de la zona de estudio. Que fue la base para la creación de todas las cartas temáticas de la zona y así realizar la caracterización ambiental a través de la Metodología de Diseño Ambiental.

Escala Urbana

Teledetección

La teledetección es una tecnología geoespacial que toma muestras de la radiación electromagnética emitida y reflejada de los ecosistemas terrestres, atmosféricos y acuáticos de la Tierra para detectar y monitorear las características físicas de un área sin hacer contacto físico (Schowengerdt, 2012). Este método de recopilación de datos generalmente involucra tecnologías de sensores basadas en aeronaves y satélites, que se clasifican como sensores pasivos o sensores activos.

Para este proceso se utilizaron imágenes satelitales Landsat 9 de 12 Bandas con resolución máxima de 15m de la zona de estudio, las cuales se procesaron en el Software ENVI 5.4 permitiendo la obtención de capas de salida para Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI) e Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI), posteriormente estos se vincularon al espacio de trabajo en el software ArcGis PRO generando un modelo de elevación de terreno con curvas a cada metro.

Escala Arquitectónica

Aeronave UAV

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV), es una aeronave de origen militar, que se guía de forma autónoma, por control remoto, o ambos, y que lleva sensores, designadores de objetivos o transmisores electrónicos diseñados para levantar información. Sin la tripulación, los sistemas de soporte vital y los requisitos de seguridad de diseño de las aeronaves tripuladas, los UAV pueden ser notablemente eficientes, ofreciendo un alcance y una resistencia sustancialmente mayores que los sistemas tripulados equivalentes (Barnhart, et.al, 2016).

El vuelo del vehículo aéreo no tripulado se llevó a cabo en la Acropolis Norte, Acropolis Central y Gran Plaza de Tikal, con el equipo UAV Bramor GEO mediante despegue por catapulta, plan de vuelo geo posicionado en doble zigzag a una altura de 120 m con toma de imágenes RGB a resolución fotográfica 24 Megapíxeles con lente de 30 mm, resolución fotogramétrica 1.4 cm/píxel traslape de 55% y aterrizaje por paracaídas. Lo que permitió generar el orto mosaico de la zona de estudio, posteriormente se post proceso en el Software PIX4d obteniendo la Nube de puntos horizontal.

Escáner laser

El escáner laser forma parte de las nuevas tecnologías para el levantamiento de información en las diferentes escalas de trabajo; Arquitectónica, Urbana y Regional, facilitando la obtención de datos en un periodo de tiempo menor y con un grado de error mínimo en comparación con los métodos tradicionales. Así mismo el proceso

de postproducción de la información obtenida también se realiza en un periodo de tiempo relativamente corto que ofrece la posibilidad de exportar los resultados de diversas maneras según los productos que se necesiten.

La metodología para realizar los levantamientos y la postproducción suele variar de acuerdo con la escala, el sitio de trabajo y los resultados requeridos, aunque siempre sigue un mismo principio.

El levantamiento escáner laser se realizó en la Acropolis Norte, la Acropolis Central, la Gran Plaza y los Templos I, II y IV de Tikal, con el equipo FARO® Focus 3D mediante puntos de control con esferas a cada 20 m. Los parámetros de escaneo fueron: perfil exterior hasta 20 m, resolución de 1/5, calidad de 4x, levantamiento horizontal de 0.00° hasta 360.00°, levantamiento vertical de – 60.00° hasta 90.00°, en blanco y negro. El post proceso de la información levantada, así como la limpieza de las escenas se realizó mediante los softwares Faro SCENE y Autodesk ReCap, uniendo cada una de las escenas mediante los puntos de control, los cuales posteriormente fueron eliminados, obteniendo nubes de puntos densas.

Modelado 2D CAD

El diseño asistido por computadora (CAD) es una forma de crear digitalmente dibujos en 2D y modelos en 3D de productos del mundo real antes de que se fabriquen. El propósito del CAD es optimizar y agilizar el flujo de trabajo del diseñador, aumentar la productividad, mejorar la calidad y el nivel de detalle en el diseño, mejorar las comunicaciones de documentación y, a menudo, contribuir a una base de datos de diseño de fabricación (Barrales, 2008). Los resultados del software CAD vienen en forma de archivos electrónicos, que luego se utilizan en consecuencia para los procesos de fabricación.

Para este proceso se empleó el Software Autodesk Revit, el primer paso fue importar las nubes de puntos densas de la Gran Plaza y los Templos I y II de Tikal escala 1 a 1, posteriormente se les realizaron cortes y cadenamientos al centro y los costados, generando así vistas laterales de cada elemento. Finalmente se

unieron cada uno de los puntos mediante vectores y se trazaron los planos en formatos 2D.

Modelado 3D Arquitectónico

El modelado 3D es el proceso de crear representaciones tridimensionales de un objeto o una superficie. Los modelos 3D se realizan dentro de un software de modelado 3D. Durante el proceso de modelado 3D, se puede determinar el tamaño, la forma y la textura de un objeto. El proceso funciona con puntos, líneas y polígonos para crear las formas 3D.

El modelado 3D en escala arquitectónica permite planificar más allá del método tradicional de planos de construcción dibujados a mano. A medida que la tecnología ha evolucionado, ahora podemos evocar una imagen tridimensional de un edificio antes de que esté completamente construido (Melendez, 2019).

Para este proceso se utilizaron las nubes de puntos densas generadas mediante el escáner laser y las nubes de puntos horizontales obtenidas mediante el UAV, las cuales se procesaron y homologaron en el Software Geomagic Design X, posterior a la homologación se triangularon para crear mallas y polígonos, a partir de esta información se generaron los modelos 3D finalmente se les dio el mismo sistema de sistema de referencia creado en SIG y así se obtuvo un modelo de elevación con curvas a cada centímetro.

Por último, el modelo de elevación junto con el modelo 3D de la Gran Plaza de Tikal se importaron en el software Autodesk Map 3D 2023, se vincularon con la información ambiental referente a precipitación creado en SIG, y se obtuvieron índices de inundación.

Fotogrametría Dron

La fotogrametría es un proceso sofisticado mediante el cual se extrae información de fotografías para crear mapas y modelos tridimensionales precisos. Utilizando fotografías aéreas de ultra alta resolución, esta práctica combina sensores aéreos montados en drones con potentes sistemas de mapeo GIS para crear documentos

dinámicos y medibles para una serie de situaciones y usos del mundo real (Kraus, 2012).

Los desarrollos recientes en fotografía digital, software y drones ahora hacen posible realizar levantamientos fotogramétricos de alta precisión a un costo relativamente bajo en una amplia gama de escalas. Los drones de fotogrametría se utilizan en muchos campos: arqueología, arquitectura patrimonial, inspección de estructuras, levantamientos de emergencia, etc.

Más que una simple colección de fotografías, la fotogrametría con drones permite ver el mismo punto desde diferentes ángulos y altitudes. A partir de ahí, puede crear fácilmente un modelo 3D que incluya una variedad de indicaciones visuales útiles, como el color y la textura.

El Proceso de fotogrametría mediante dron se realizó en el Templo 1 de Tikal con el equipo DJI Phantom 4 Pro controlado a través de la aplicación Pix4d capture, generando un plan de vuelo con misión circular a 4 diferentes alturas, velocidad de dron 3, ángulo entre imágenes de 20 grados, balance de blancos automático, sin ignorar el punto de origen. Posteriormente el mosaico fotográfico obtenido se procesó en el software Agisoft Metashape Professional, alineando las diferentes secuencias de fotos, generando una nube de puntos densa, se triangularon los puntos para obtener una malla, el modelo 3D y la textura .

Escala Objeto

Escaneo 3D

El escaneo 3D es un proceso de análisis de un objeto del mundo real, para recopilar todos los datos con el fin de recrear su forma y apariencia digitalmente. Gracias a este proceso, el objeto puede convertirse en un modelo 3D, lo que puede servirte como base para el proyecto 3D que estás a punto de desarrollar, pero también puede serte útil para reconstruir, analizar o simular ideas (Confalone, et.al, 2023).

Hay muchos métodos diferentes de escaneo 3D, podemos considerar como los principales: escaneo láser 3D, fotogrametría y escaneo de luz estructurada. La

elección de la técnica de escaneo 3D se hará en función del proyecto o su contexto.

El escaneo láser 3D es sin duda la técnica de escaneo 3D más común y utilizada. Estos escáneres pueden medir detalles muy finos y capturar formas de forma libre para generar nubes de puntos de alta precisión.

Esta técnica de escaneo láser es perfecta para medir e inspeccionar geometrías complejas. Permite obtener mediciones y datos desde donde no es práctico con los métodos tradicionales.

El escaneo 3D del dintel 3 del Templo IV se realizó en Museum der Kulturen Basel en Basilea Suiza, mediante la técnica de documentación por rayo láser con el escáner laser FARO® Focus 3D. Metodológicamente se generaron escenas mediante puntos de control establecidos por tableros a cada 0.50 m y el escaneo de cabeza. Los parámetros de escaneo fueron: perfil interior hasta 10 m, resolución de 1/1, calidad de 2X, levantamiento horizontal de 0.00° hasta 180.00°, levantamiento vertical de -60.00° hasta 60.00°, a color.

Posteriormente los datos obtenidos se procesaron y limpiaron en el software Geomagic Wrap uniendo las escenas que conforman cada tablón del dintel para crear una nube de puntos ultradensa.

Modelado 3D

El modelado 3D es una técnica digital para producir una representación digital 3D de cualquier objeto o superficie a través de un modelo.

Un modelo 3D se compone esencialmente de vértices, que se unen para formar una malla y actúan como el núcleo del modelo 3D. Cada punto del modelo se puede manipular para cambiar la forma. Mediante el uso de datos de coordenadas, el software identifica la ubicación de cada punto vertical y horizontal, todo relativo a un punto de referencia (Foster, Halbstein, 2014).

La forma más común de comenzar a hacer un modelo 3D es comenzar con una forma básica: un cubo, una caja, una esfera o lo que crea más adecuado. Desde su forma inicial, puede comenzar a moldearla y refinarla en lo que desee.

Muchas industrias utilizan el modelado 3D para una variedad de proyectos ya que con el modelado 3D, las oportunidades son infinitas. Es un medio verdaderamente versátil que se puede utilizar para una variedad de áreas diferentes.

Para el modelado 3D se utilizó la nube de puntos ultradensa de el dintel 3 del Templo IV de Tikal, la cual se importó para su procesamiento al software Geomagic Sculpt 2019. Una vez importada se trianguló la nube de puntos, posteriormente se verificó cada uno de los vértices generados y se generaron nuevos en las zonas donde existían vacíos de información con la finalidad de obtener una malla cerrada, al tener la mal finalizada se procedió a generar la textura en UHD y se le dio la calidad de representación 1 a 1 referente a la pieza original. Finalmente se generó el modelo 3D del Dintel 3 del Templo 4.

Escala elemento

Fluorescencia de rayo X

La fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica no destructiva utilizada para determinar la composición elemental de los materiales. Los analizadores XRF determinan la química de una muestra midiendo los rayos X fluorescentes emitidos por una muestra cuando es excitada por una fuente primaria de rayos X. Cada uno de los elementos presentes en una muestra produce un conjunto de rayos X fluorescentes característicos que es único para ese elemento específico, por lo que la espectroscopia XRF es una excelente tecnología para el análisis cualitativo y cuantitativo de la composición del material (Shackley, 2010).

Un espectrómetro de fluorescencia de rayos X es un instrumento utilizado para análisis químicos de rutina no destructivos de rocas, minerales, sedimentos y fluidos, por el bajo costo de la preparación de muestras, la estabilidad y facilidad de uso.

Para la realización del análisis de fluorescencia de rayo x fue necesario realizar la colecta de material a analizar, por lo que se tomaron muestras de los elementos que componen los basamentos piramidales, calzadas y reservorios de la zona arqueológica de Tikal. Posteriormente se le dio a las muestras el tratamiento necesario el cual consistió en molido, tamizado y posteriormente quema de cualquier impureza. Una vez las muestras se encontraron preparadas se analizaron con el equipo Bruker TITAN S1, programado con análisis geológico en 2 fases de 1 minuto cada una.

Finalmente, los datos obtenidos se analizaron mediante el software S1 TITAN TOOLBOX generando los reportes y bases de datos de cada muestra, dichas bases de datos se vincularon a la sección de geología del análisis ambiental mediante SIG.

Capítulo 3. “Presentación y análisis de resultados”

En este capítulo se muestran los resultados generados a través del análisis multiescalar mediante el uso de nuevas tecnologías de información. Se demuestra la relación de las escalas entre sí, así como la manera en que las nuevas tecnologías se vinculan una con otra, lo que genera resultados específicos que disminuyen al máximo la posibilidad de error en su interpretación.

Resultados obtenidos

Las nuevas tecnologías utilizadas para la comprensión integral del Patrimonio Mixto Mundial de Tikal fueron las técnicas de GPS gravimétrico, rasterización y SIG mediante los cuales se obtuvo el primer resultado, los puntos GPS, el sistema de referencia y la superficie de trabajo dentro de la forma física de la tierra (imagen 1), lo que permite que la generación de información tenga un lugar exacto en el espacio. superficie se georreferencian las cartas topográficas físicas digitalizadas (imagen 2 y 3).

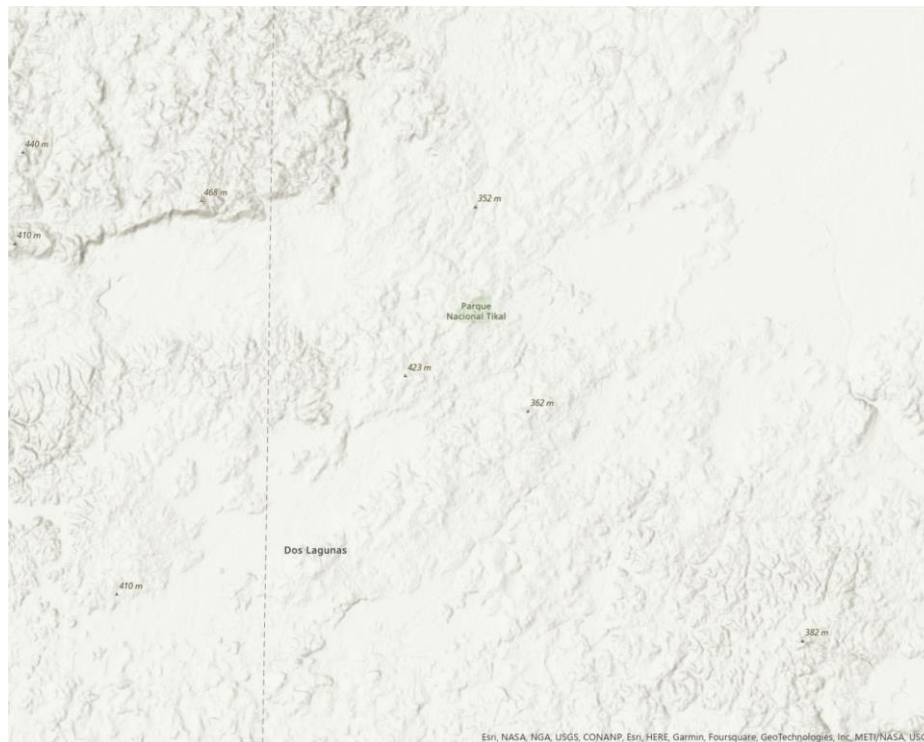


Imagen 1. Superficie de trabajo, elaboración propia

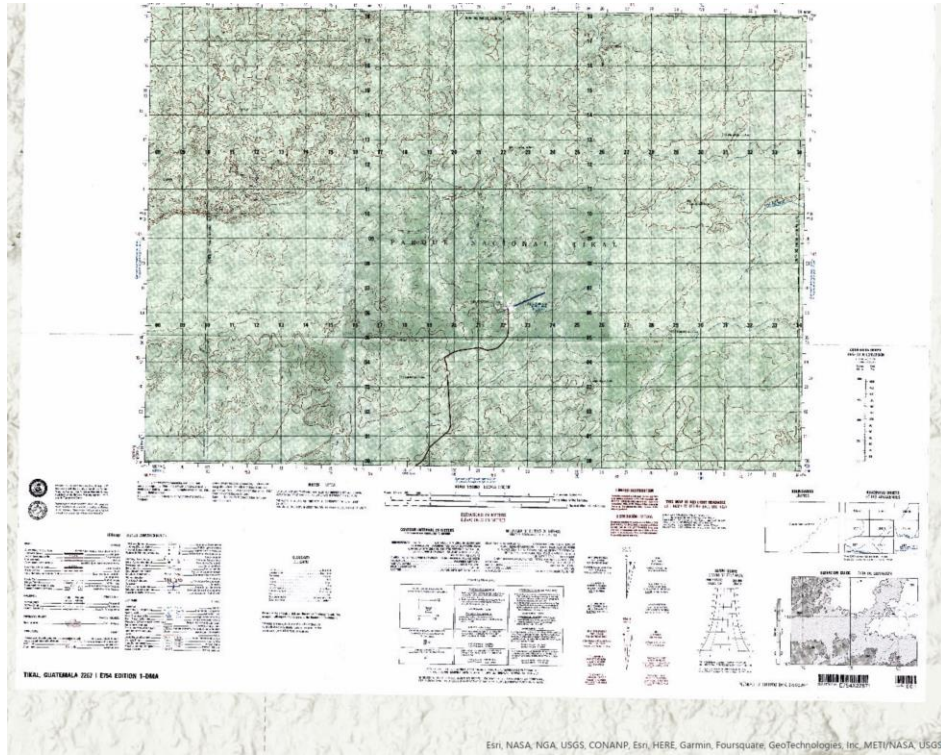


Imagen 2. Carta escaneada georreferenciada, elaboración propia

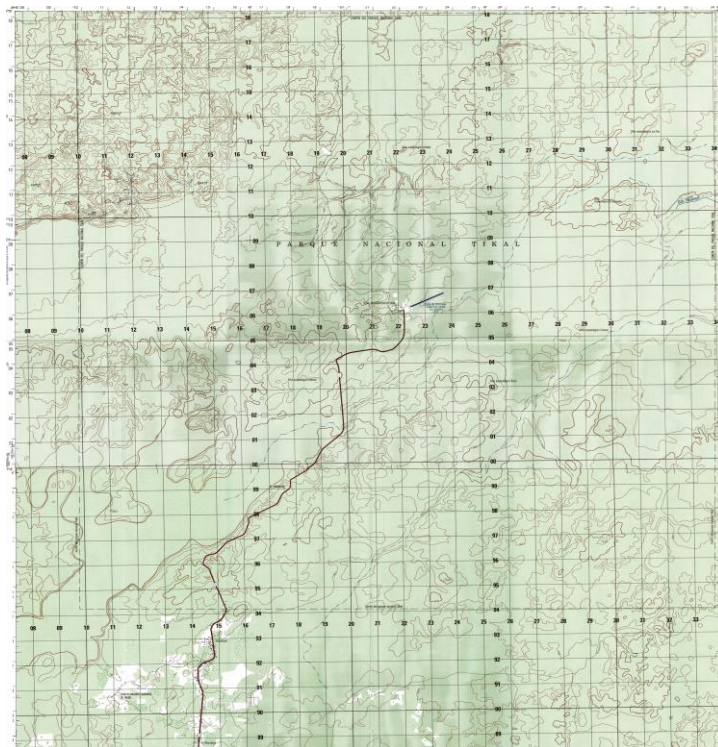


Imagen 3. Geotiff, elaboración propia

Este proceso permite la vinculación de la tecnología analógica con la digital, que posteriormente se rasterizan las curvas de nivel a cada 20 metros para generar un formato vectorial al que se le otorga valor de elevación y se obtiene mediante los SIGs el modelo de elevación, que es la representación tridimensional (imágenes 4,5,6) y en el cual se realiza el análisis ambiental de la zona.

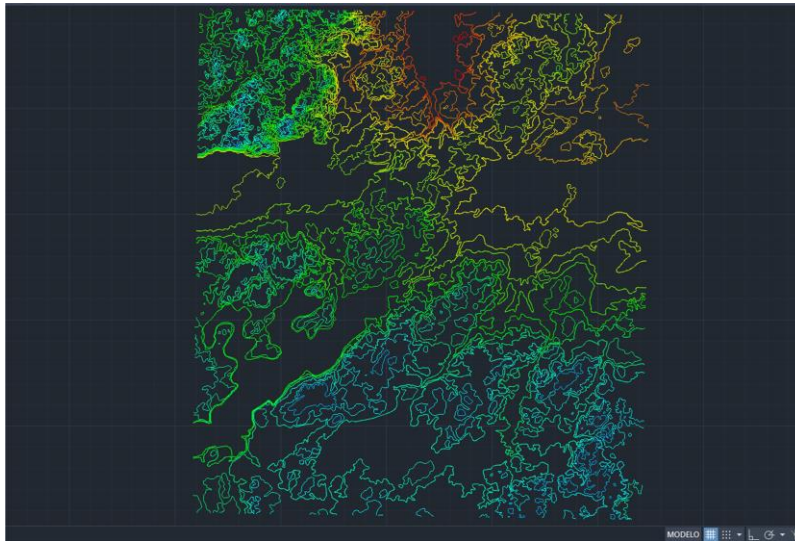


Imagen 4. Curvas rasterizadas, elaboración propia

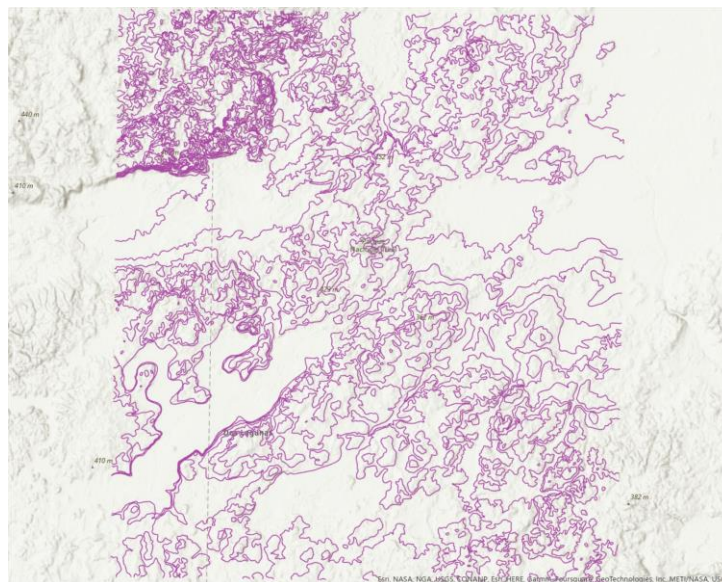


Imagen 5. Curvas sobre superficie con valor de elevación, elaboración propia

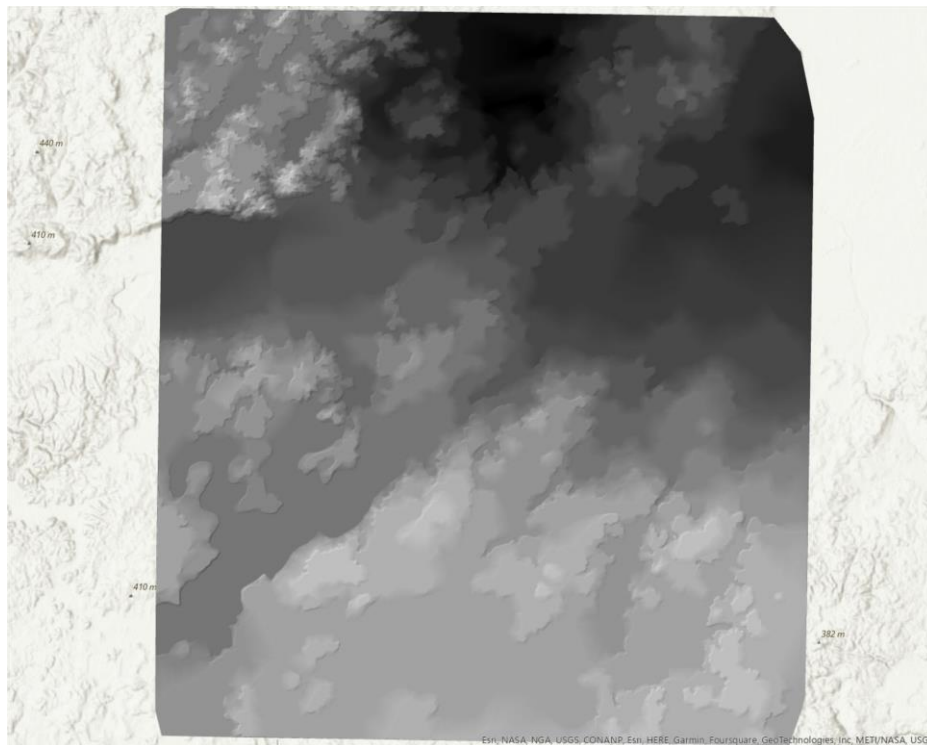


Imagen 6. Modelo de elevación de terreno, elaboración propia

Para el análisis se utiliza la Metodología de Diseño Ambiental (López-de Juambelz 2012b), donde el primer punto que marca este método es la definición de una poligonal de trabajo; en este caso, se utiliza el polígono del PANAT (imagen 7), ya que su dimensión permite la comprensión de los procesos ambientales en la zona de la investigación, posteriormente se crean las cartas de cada una de las variables ambientales, con esta información se obtienen las Unidades Ambientales (imagen 8), que permite zonificar la poligonal, a través de índices de similitud (López-de Juambelz 2012b) que identifican el comportamiento del territorio y su relación con la cultura emplazada en el sitio.

La escala regional permite comprender el comportamiento ambiental de la zona, identificando los recursos, limitantes, posibilidades que otorga la naturaleza y permite la expresión cultural. La siguiente escala que explica el fenómeno patrimonial de Tikal es la urbana.

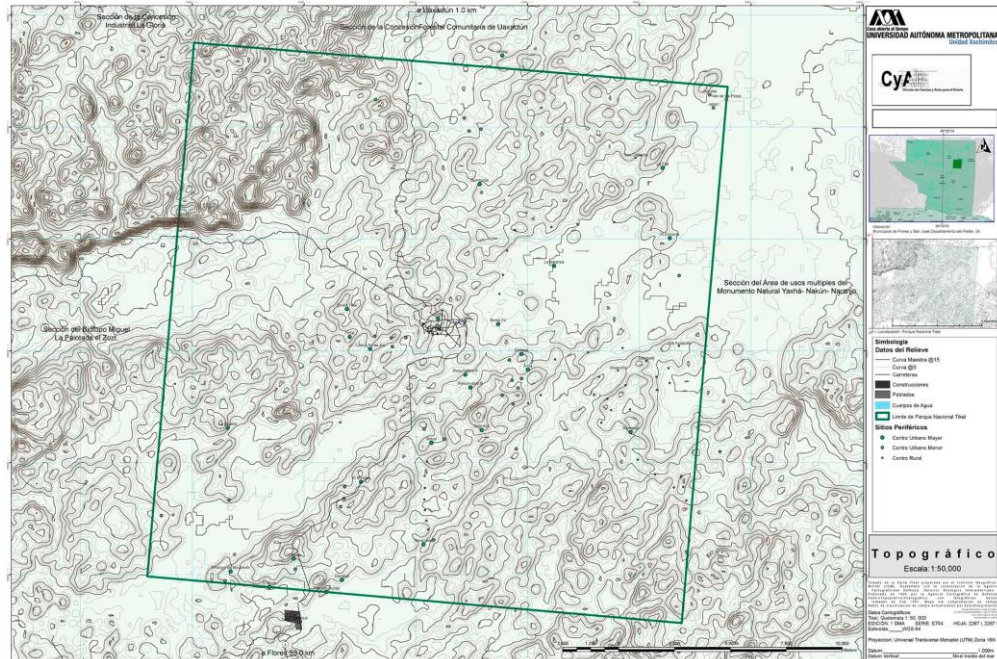


Imagen 7. Plano Base con poligonal de trabajo, elaboración propia

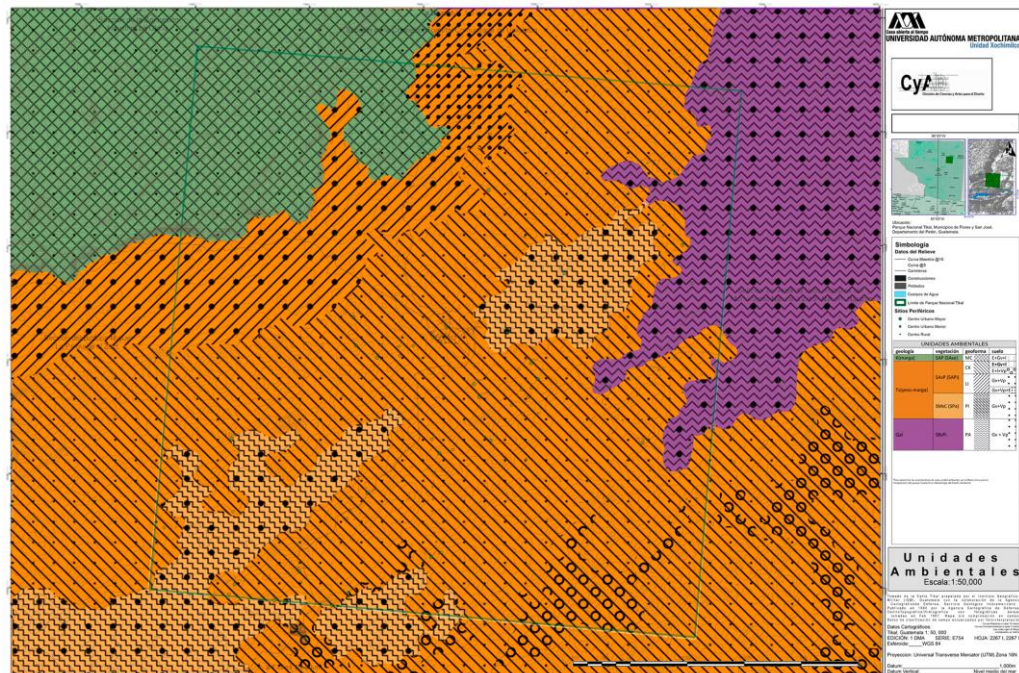


Imagen 8. Plano de Unidades Ambientales, elaboración propia

El análisis urbano se realiza a partir del modelo de elevación de terreno generado en la escala regional que permite obtener las curvas de nivel a cada 5 metros con expresión real y no interpolada. (imagen 9), con el que se crea un nuevo modelo de elevación georreferenciado cuyo detalle permite el trabajo urbano mediante la nueva tecnología de teledetección (Imagen10) que se aplica para estudiar la región centro de la poligonal (Imagen 11).

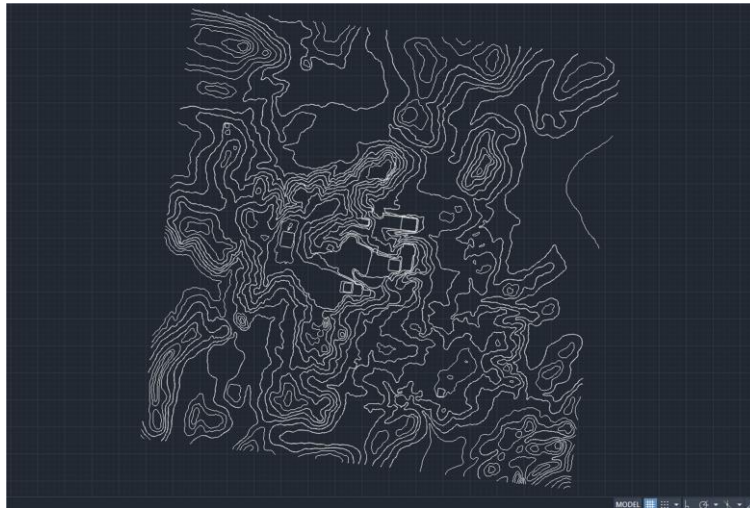


Imagen 9. Curvas de nivel a cada 5 m, elaboración propia

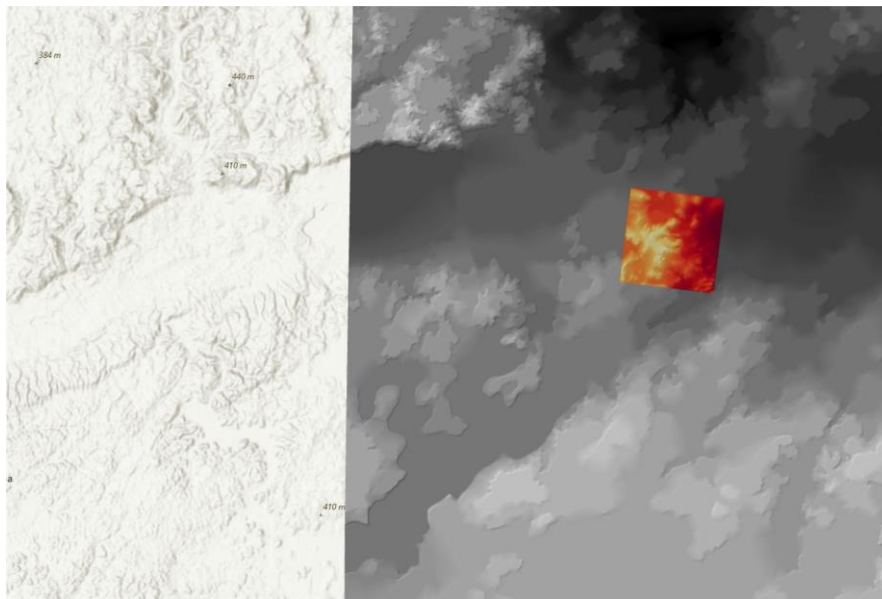


Imagen 10. Modelo de elevación escala urbana georreferenciado, elaboración propia

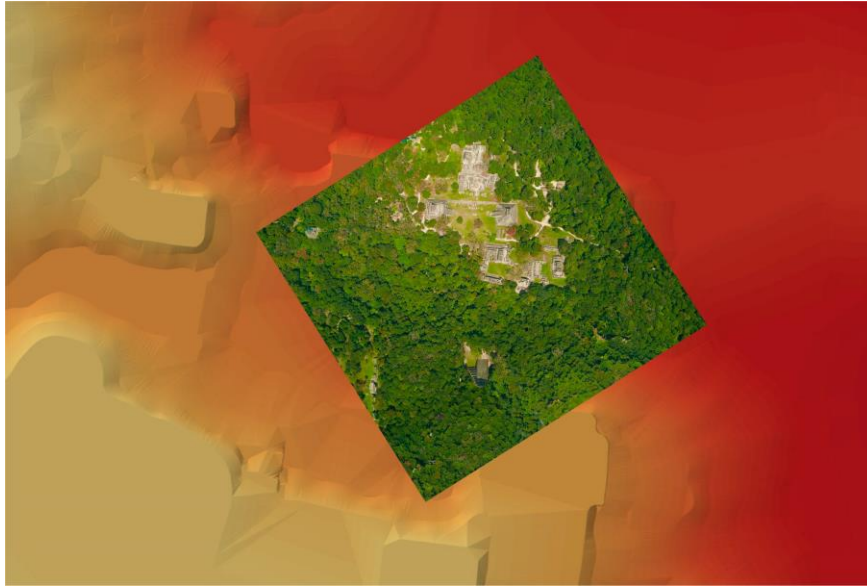


Imagen 11. Imagen satelital para teledetección georreferenciada, elaboración propia

Se obtiene el registro de las zonas urbanizadas mediante el análisis de falso color y se detectan las zonas intervenidas por el hombre, aún cubiertas de vegetación el resultado se expresa en pixeles de tonalidad blanca. (Imagen 12).

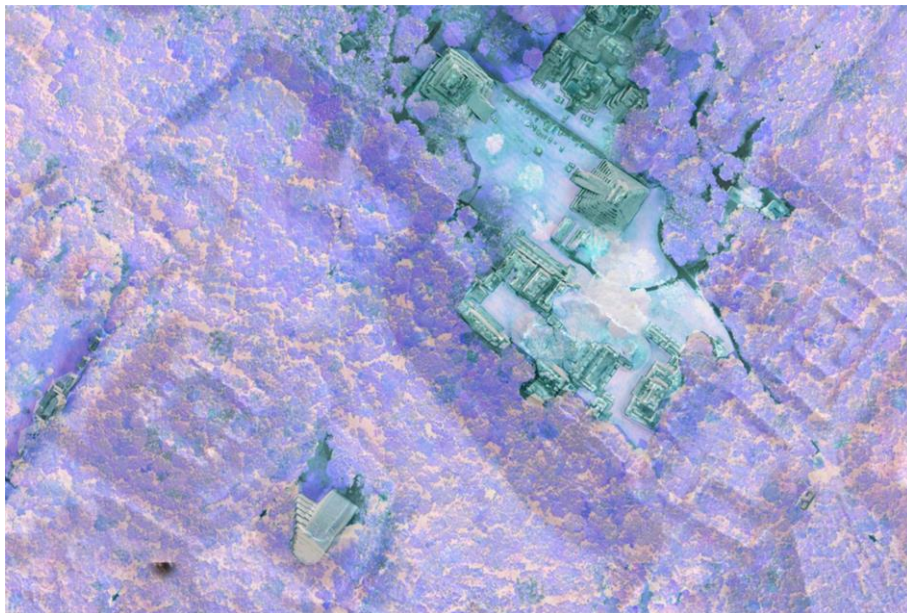


Imagen 12. Análisis de falso color, elaboración propia

La segunda información obtenida es el comportamiento de la vegetación a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que detecta la radiación, dando por resultado las diferencias en estado de conservación y desarrollo de vegetación en pixeles de tonalidades rojizas. En esta combinación de bandas se observa una clara diferencia en el tipo de vegetación donde está la zona arqueológica que muestra la presencia de vegetación secundaria conocida como acahual y las zonas de la Selva Alta Subperennifolia intercolinar. (Imagen 13).

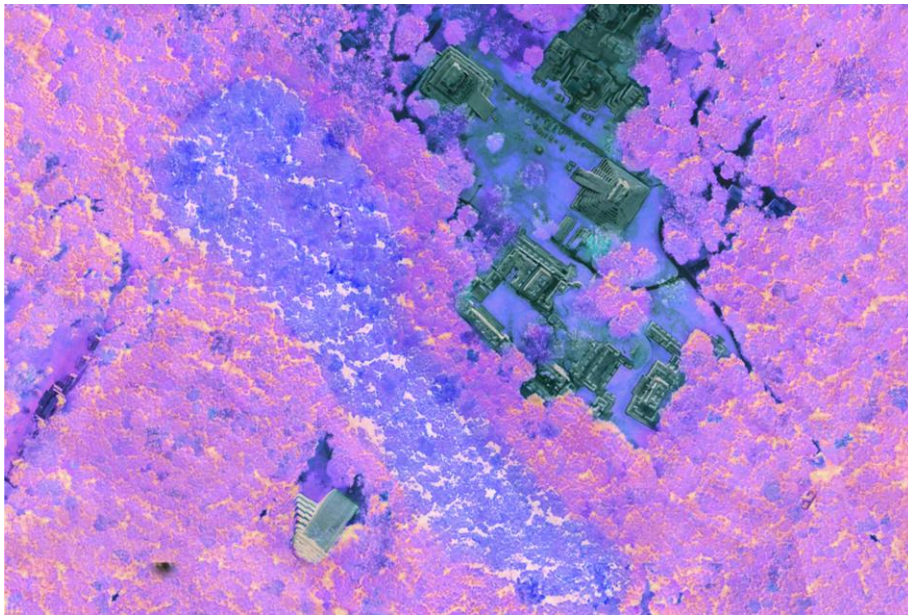


Imagen 13. Análisis NDVI, elaboración propia

La escala urbana es la liga entre la información de la regional y la arquitectónica, por lo cual es necesario que estas se encuentren referenciadas y vinculadas una con la otra (Imagen 14), entender la complejidad de cada escala facilita el entendimiento de la subsecuente, en el acercamiento, la escala grafica es cada vez menor, pero el nivel de información y detalle es mayor.

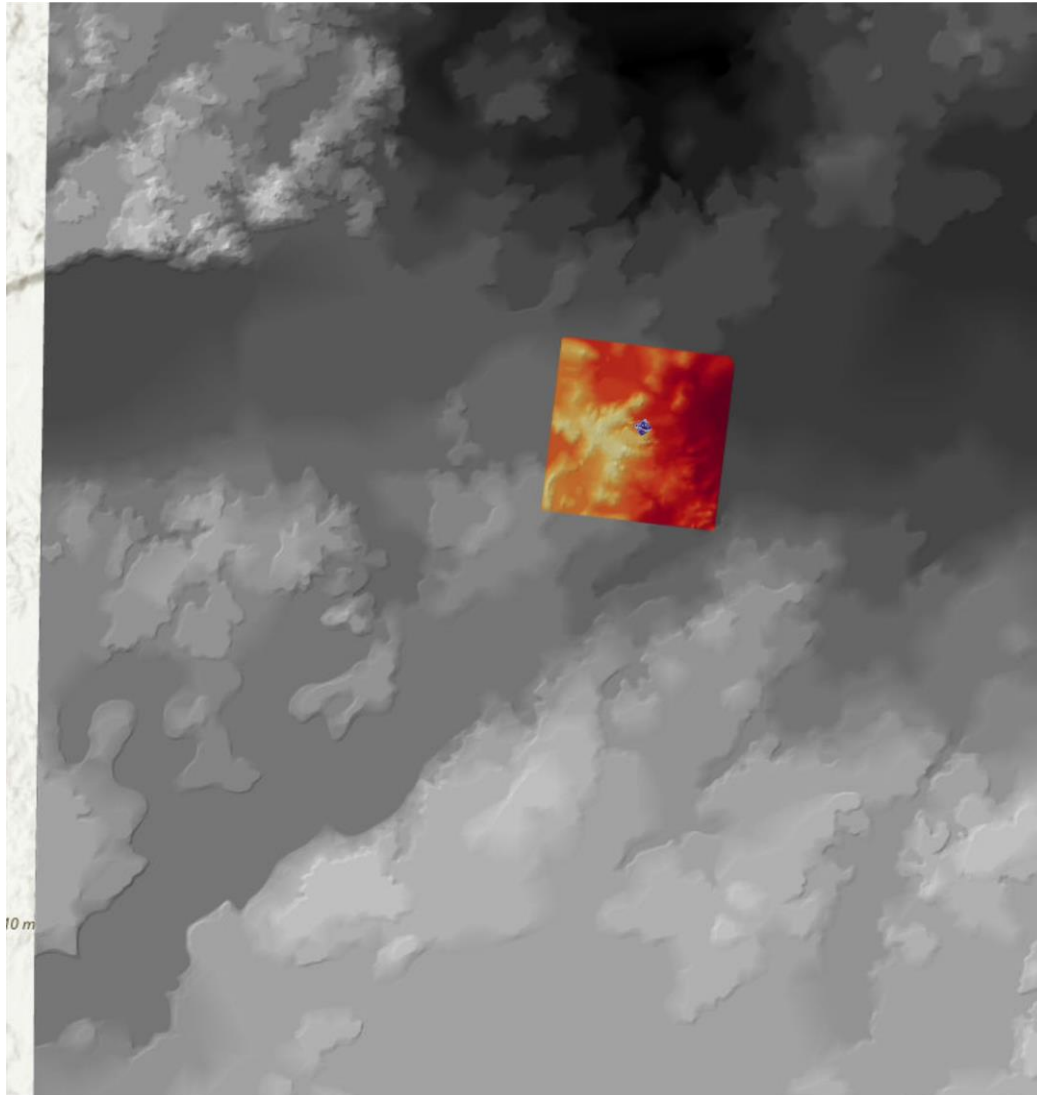


Imagen 14. Poligonal arquitectónica referenciada en la escala urbana y regional, elaboración propia

A partir del modelo 3D de elevación obtenido durante la primera fase y los resultados de la teledetección se desarrolla el modelado 3D georreferenciado de los monumentos para el estudio en escala arquitectónica donde se identifica el modelamiento de tierra en la zona patrimonial, donde se pueden localizar la plataforma para el desplante de los edificios y los cuerpos de agua que se relacionan con el asentamiento de la población de Tikal (Imagen 15).

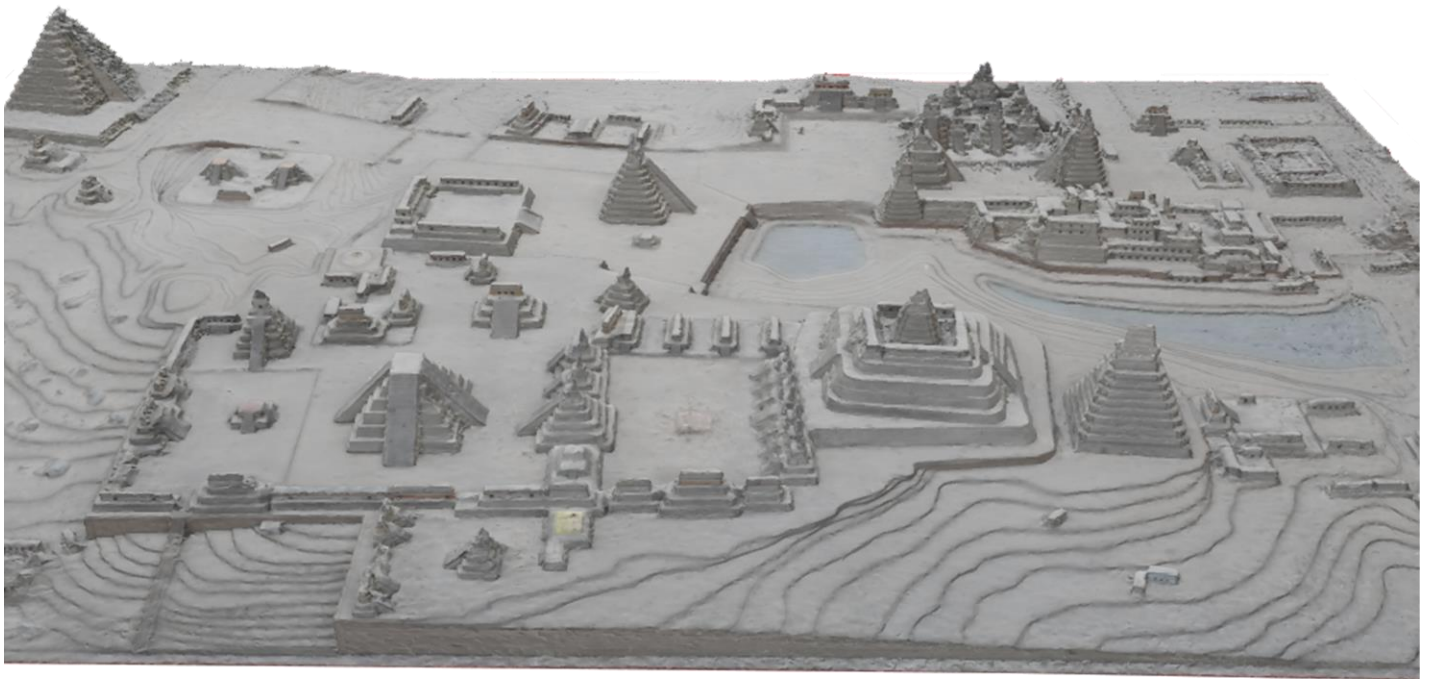


Imagen 15. Modelo 3D zona de estudio escala arquitectónica, elaboración propia

Se continua con el acercamiento mediante el cambio a escala arquitectónica, para lo cual se rasterizan las curvas de nivel a cada metro a partir del modelo 3D (Imagen 16). El trabajo en escala arquitectónica corresponde a la Gran Plaza de Tikal y sus componentes singulares mediante la homologación de los levantamientos del escáner láser y el UAV obteniendo 124 escenas (Imagen 17, 18) que se georeferencian y se obtienen los planos bidimensionales (Imagen 19) y modelos 3D exteriores del estado actual de los Templos I, II, la Gran Plaza y la Acropolis Norte(Imagen 20, 21, 22).



Imagen 16. Curvas de nivel a 1m, elaboración propia



Imagen 17. Homologación nubes de puntos en planta, elaboración propia

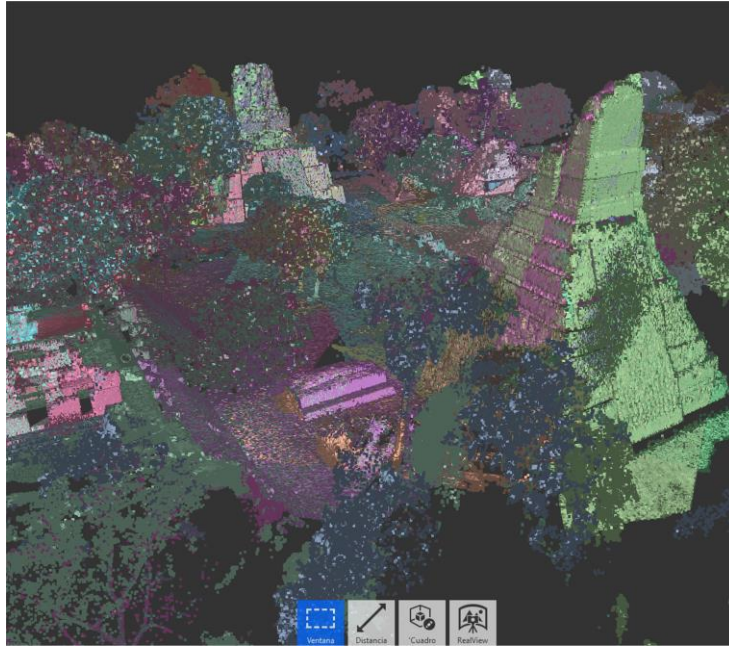


Imagen 18. Nube de puntos georreferenciada, elaboración propia

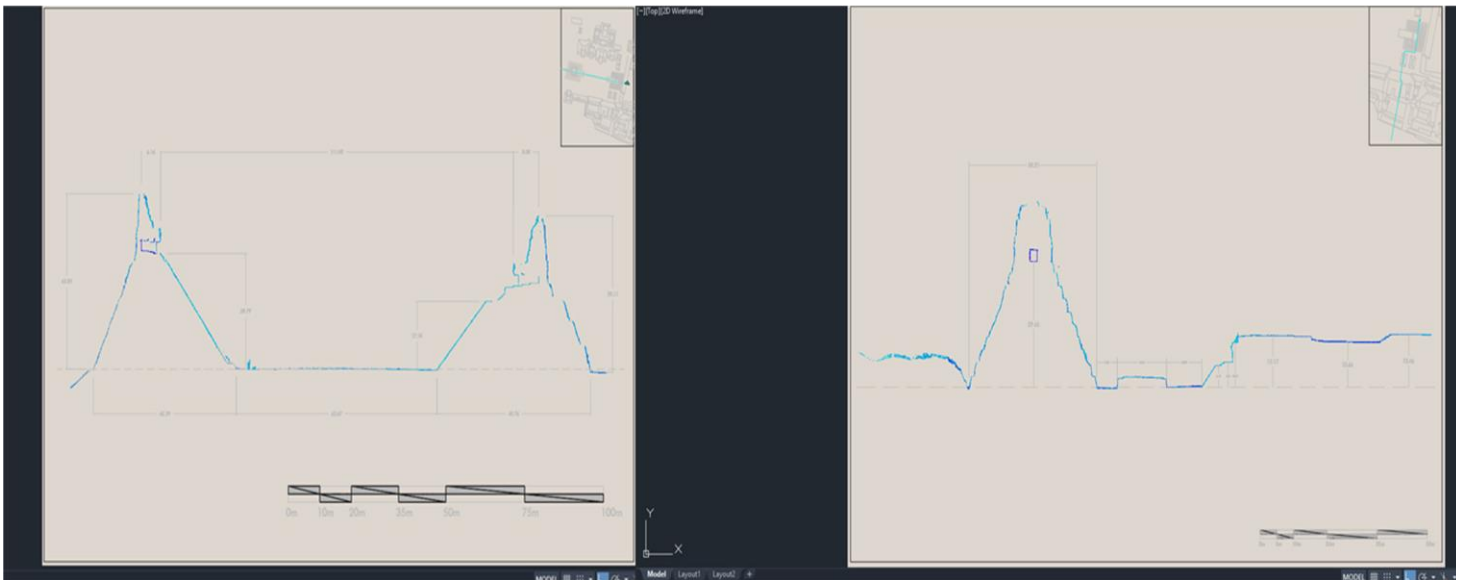


Imagen 19. Planos bidimensionales, elaboración propia

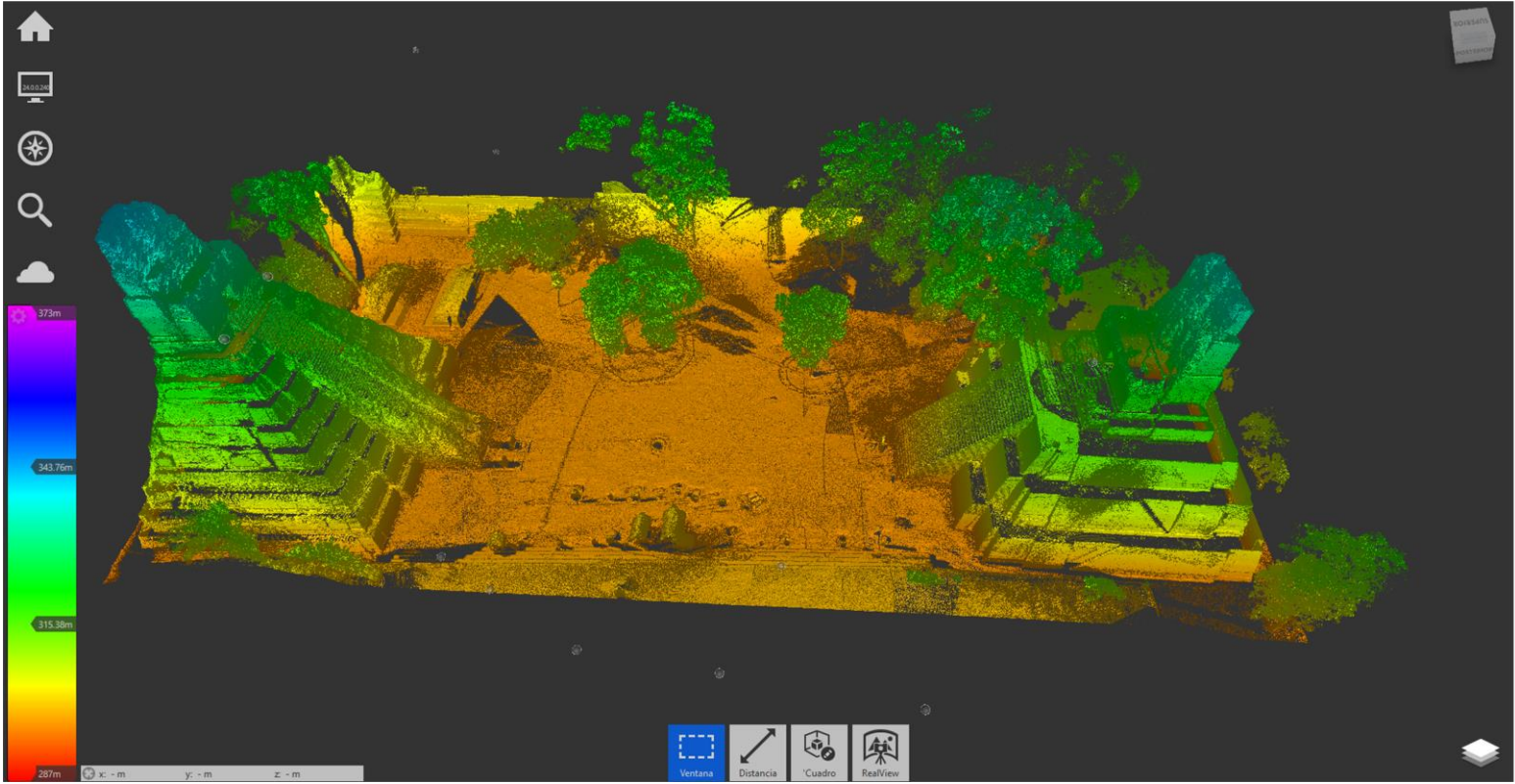


Imagen 20. Modelo 3D Gran Plaza de Tikal, elaboración propia

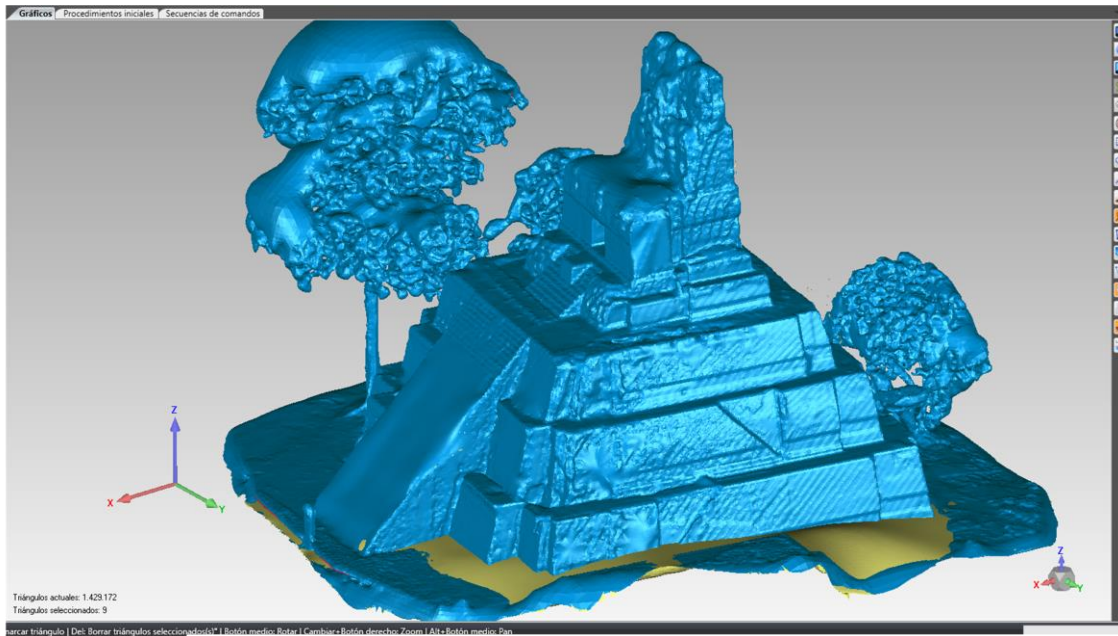


Imagen 21. Modelo 3D Templo II de Tikal, elaboración propia

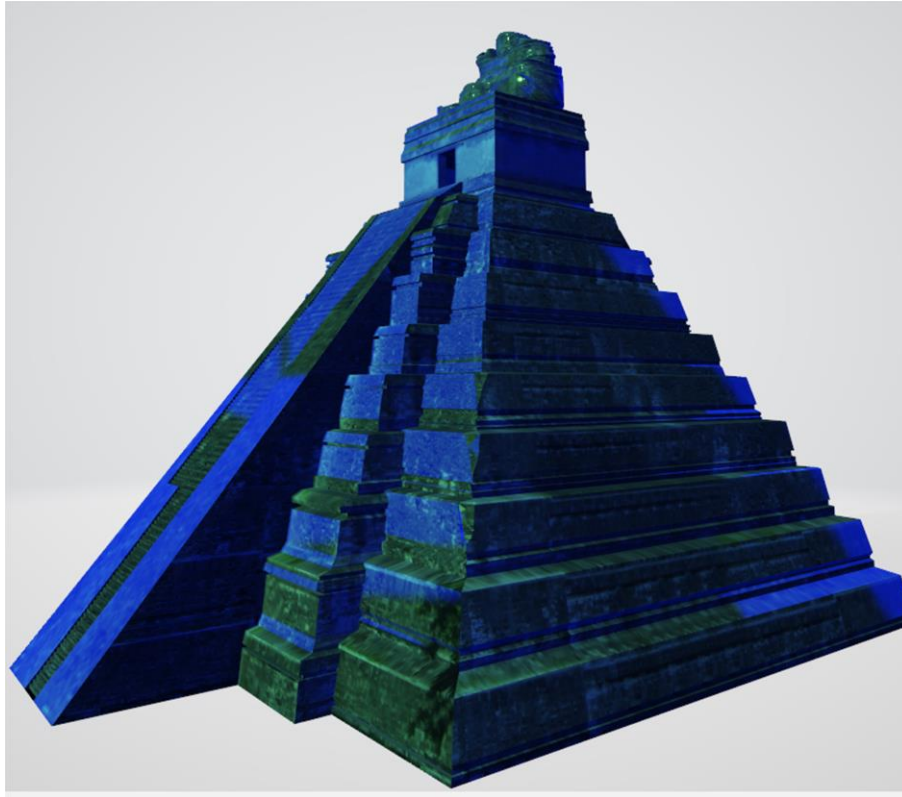


Imagen 22. Modelo 3D Templo I de Tikal, elaboración propia

En el Templo IV se obtiene únicamente el modelo externo parcial (Imagen 23), ya que no ha sido totalmente excavado; se generó el único modelo existente del interior de las cámaras que albergan a los dinteles de chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) (Imagen 24).

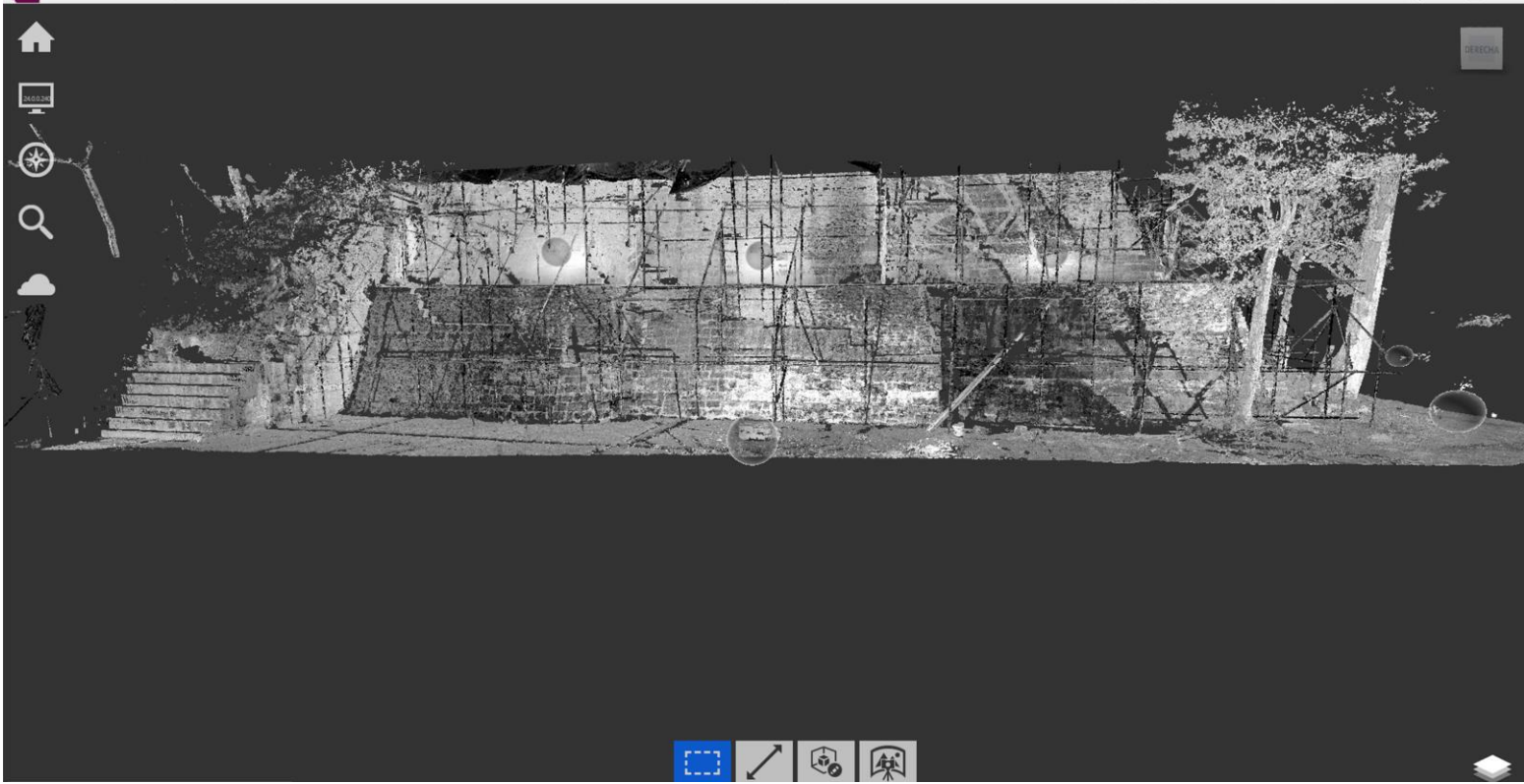


Imagen 23. Nube de puntos sección liberada del Templo IV de Tikal, elaboración propia

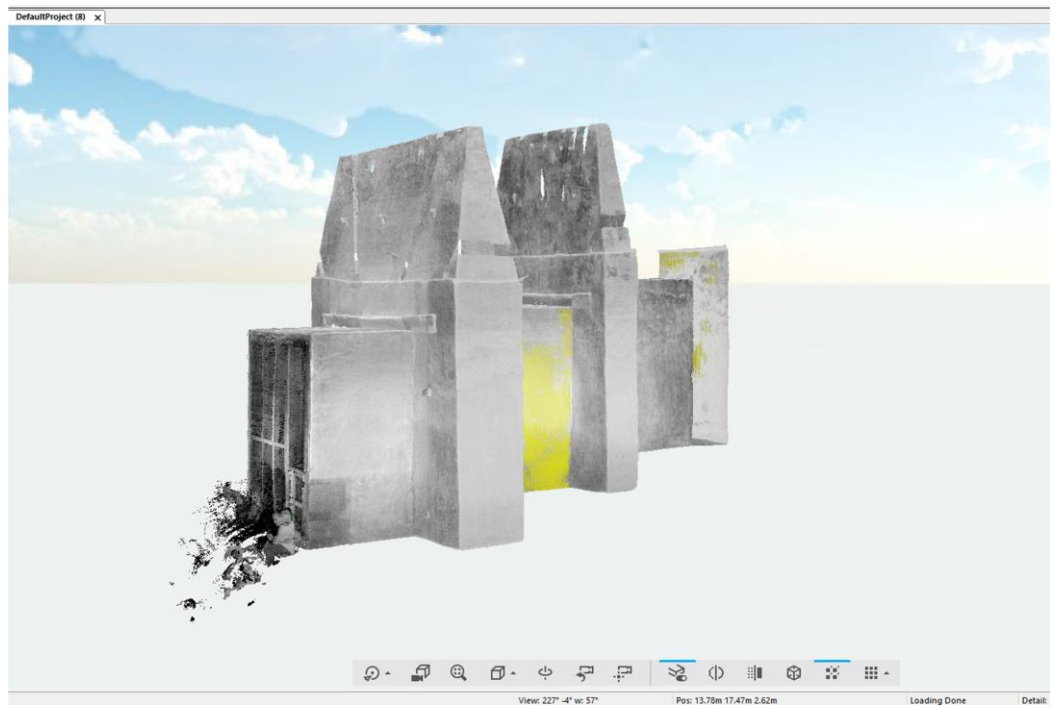


Imagen 24. Modelo 3D interior del Templo IV de Tikal, elaboración propia

La escala objeto en el análisis del patrimonio cultural de Tikal representada por el dintel 3 del Templo IV que se encuentra expuesto en el Museum der Kulturen Basel, se lleva a cabo mediante la nueva tecnología de escáner láser, obteniendo por resultado el modelo 3D de cada uno de los 7 tablones (Imagen 25) que se armaron para formar el dintel (Imagen 26) que se geoposiciona a través de las coordenadas y se coloca en su sitio preciso (Imagen 27).

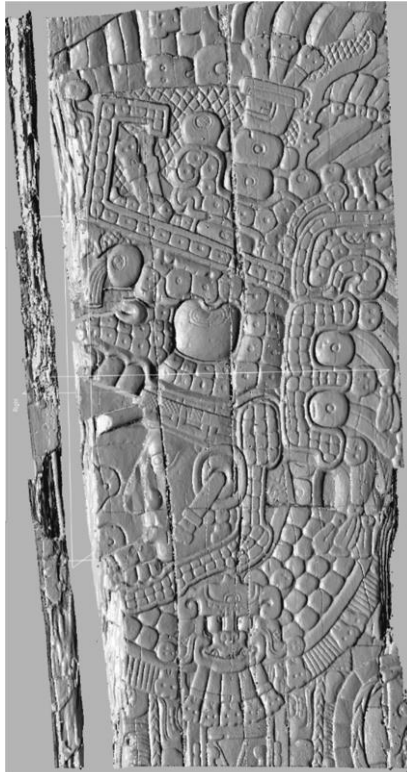


Imagen 25. Modelo 3D de sección de tablón del Dintel 3 del Templo IV de Tikal, elaboración propia



Imagen 26. Modelo 3D del Dintel 3 del Templo IV de Tikal, elaboración propia



Imagen 21. Modelo 3D del Dintel 3 posicionado dentro del Templo II de Tikal, elaboración propia

Por último, se incursiona en la escala elemento que permite conocer el uso que la cultura de Tikal hacía de los recursos del territorio, el análisis XRF que se realizó en los rastros del acabado que se encuentra en la superficie del dintel indica la presencia de CAO, Fe₂O₃ y trazas de Ti, Al, Mn (Imagen 22, 23), lo que se relaciona con el uso de la Hematita como mineral de tinción para lograr el color rojo. El Ca es el medio base para el recubrimiento y la aplicación de color.



Imagen 22. Análisis XRF del Dintel 3 del Templo IV de Tikal, elaboración propia

Name: TIKAL No.: 981 Date: 01/04/2023 Time: 01:09:00 p.m.

Duration: 60.0 s

Application: GeoChem

Method: DualMining

Element		Min [%]	Conc. [%]	Max [%]	Stddev. [%]
Magnesium Oxide	MgO		< LOD		1.11
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃		0.32		0.23
Silicon Oxide	SiO ₂		< LOD		0.18
Phosphorus Oxide	P ₂ O ₅		< LOD		0.05
Sulfur	S		1.49		0.05
Chlorine	Cl		0.09		0.03
Potassium Oxide	K ₂ O		< LOD		0.01
Calcium Oxide	CaO		5.40		0.05
Titanium Oxide	TiO ₂		0.29		0.02
Vanadium	V		< LOD		0.01
Chromium	Cr		< LOD		0.01
Manganese Oxide	MnO		0.02		0.01
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃		0.38		0.02
Cobalt	Co		< LOD		0.00

Imagen 23. Resultados de análisis XRF, elaboración propia

En este sentido también se analiza, con la misma tecnología en la escala elemento, las muestras de mano de las rocas de Tikal encontrando la presencia de los mismos elementos químicos (Imagen 24), que se relacionan con las rocas sedimentarias principalmente caliza y lutita que se reportan en el análisis ambiental a escala regional (Imagen25).

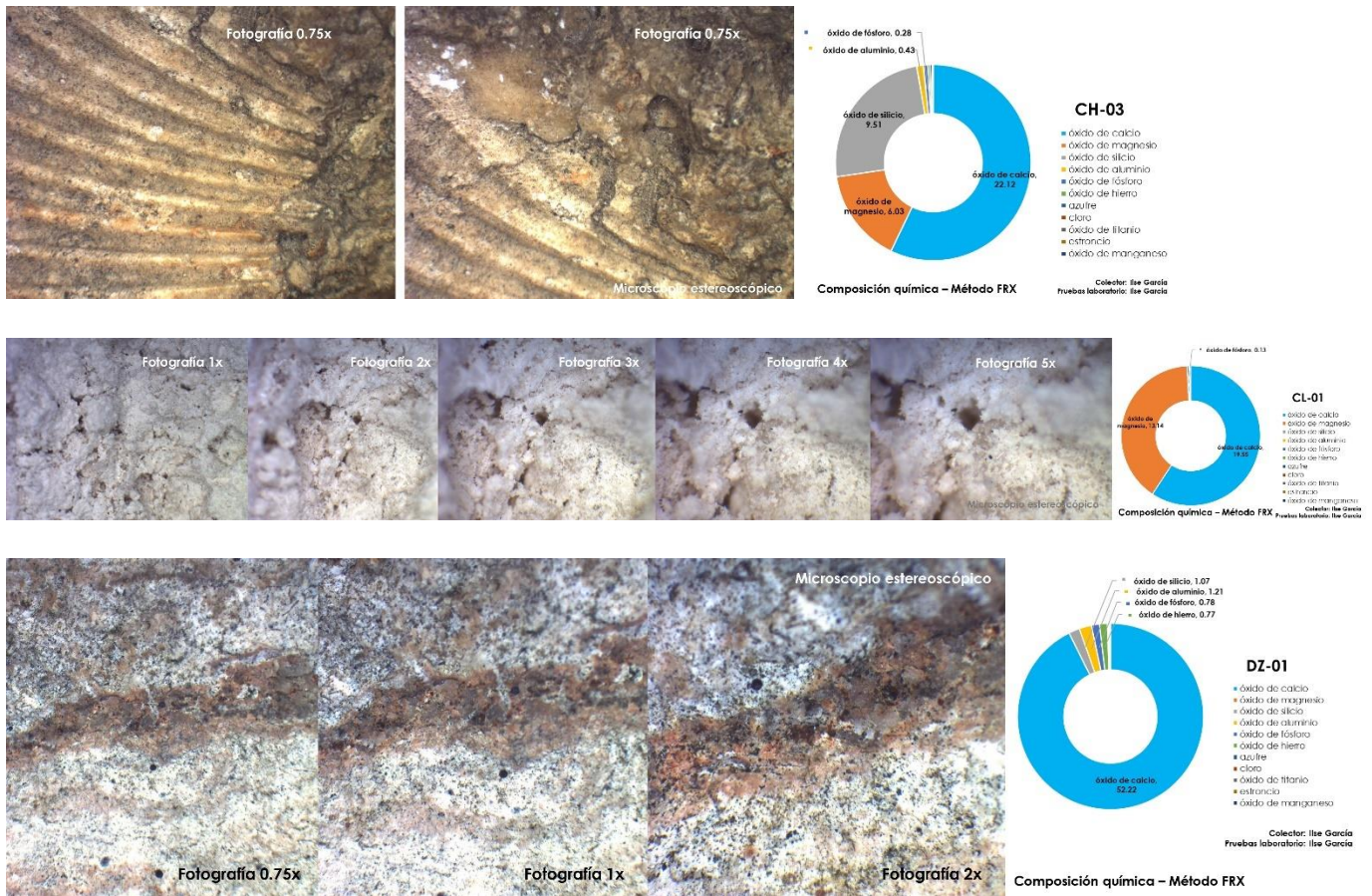


Imagen 24. Resultados de análisis XRF e interpretación de muestras de rocas, elaboración propia



Imagen 25. Modelos 3D de muestras de rocas recolectadas en la zona de estudio, elaboración propia

Conclusiones

La investigación demuestra que la hipótesis planteada se valida dado que el uso de las nuevas tecnologías permite obtener resultados en formato digital que logran que, el objeto patrimonial no se degrade ni desaparezca sino se conserve y difunda a través del tiempo y el espacio, así mismo brindan la posibilidad de registrar el estado actual del bien patrimonial y restaurarlo a su estado original o al existente en diferentes épocas. La aplicación del análisis en diversas escalas permite un entendimiento más completo del objeto, ya que se estudian todos los contextos que intervienen directa e indirectamente en él y se integran en como un solo resultado.

Se demuestra que la variable ambiental es la que determina las posibilidades limitaciones y maneras de adaptación para crear y entender el patrimonio, en el caso específico de Tikal se identifica que el tipo de suelo, su geología, topografía y acceso a el recurso hídrico fueron determinantes para la habitabilidad del espacio a través de la adaptación de los procesos constructivos, sociales y políticos al ambiente.

En cuanto a los procesos de análisis, conservación y difusión del patrimonio a través de uso de nuevas tecnologías se benefician en comparación con los métodos tradicionales dado que la información levantada tiene menor grado de error, cada tecnología genera información independiente con la posibilidad de vincularse una con la otra, se obtiene en un periodo de tiempo más corto, su almacenamiento puede realizarse en varias partes de forma simultánea, no se degrada con el paso del tiempo y puede ser consultada en cualquier lugar y momento. El análisis y procesamiento de dicha información puede hacerse de manera colaborativa transdisciplinar de forma sincrónica desde diferentes lugares del planeta, tiene la capacidad de procesarse de diversas maneras entregando resultados diferentes. Puede difundirse como modelos, fotografías, videos, recorridos, realidad virtual y realidad aumentada de acceso en cualquier momento.

La metodología de análisis patrimonial multiescalar resultado de la presente investigación brinda la posibilidad de analizar, comprender y trabajar el patrimonio

y su complejidad desde sus diversas escalas, temporales y espaciales vinculando la información obtenida en cada una de ellas, lo que permite obtener resultados más específicos y detallados en comparación a los que se generarían analizando cada escala de forma independiente. Esta metodología es de suma importancia en la investigación y toma un papel protagónico en la misma, ya que funge como eje rector para el uso de las nuevas tecnologías dando orden al proceso metodológico.

Las limitantes a las que se enfrentó la investigación fueron:

El acceso a las tecnologías, se considera que de haber tenido acceso a tecnologías y equipo más especializado el grado de detalle y especificidad de los resultados obtenidos sería mayor. El tiempo, aunque el uso de nuevas tecnologías para el análisis y conservación del patrimonio permiten que los tiempos de generación de datos sean más cortos, la gran cantidad de información obtenida en la presente investigación tiene la capacidad de analizarse más a fondo y detalle, en futuras investigaciones de posgrado. Uso, disponibilidad, manejo y mantenimiento del equipo, el haber seleccionado como sitio de estudio Tikal, Guatemala requirió de permisos y gestiones gubernamentales para el traslado del equipo de un país a otro, así como certificaciones de operación para su uso, por lo que la operación y manejo solo puede llevarse a cabo por personal calificado. Además, la contingencia sanitaria por el COVID limitó los tiempos para acceder al sitio y el trabajo de post procesamiento.

Cada uno de los resultados tiene la posibilidad de generar futuras líneas de investigación por la cantidad y calidad de información generada, en específico la obtenida mediante la fluorescencia de rayo x del dintel 3 del Templo IV de Tikal debería continuar investigándose con la posibilidad de identificar los elementos presentes en cada tablón y relacionarlos con los pigmentos utilizados por la cultura maya de Tikal con la finalidad de identificar los colores que en un inicio tenía cada glifo y sección que conforma el dintel, dando la posibilidad de restaurarlo a su estado original.

Referencias

AA.VV. (1931). Carta de Atenas.

AA.VV. (1975). Carta Europea del patrimonio arquitectónico y declaración de Ámsterdam. 1975.

AA.VV. (1985). Convenio para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa. Convención de Granada.

AA.VV. (2007a). Documentos fundamentales para el Patrimonio Cultural. Textos internacionales para su recuperación, repatriación, conservación, protección y difusión. Lima: Instituto Nacional de Cultura del Perú.

AA.VV. (2007b). Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades. Boletín Oficial del Estado, (89), 16241-16260.

AA.VV. (2016). Decima sesión ordinaria de la UNESCO, Paris, 2016.

AA.VV. (2009). London Charter. Recuperado de <http://www.londoncharter.org/index.html>

AA.VV. (2009). London Charter. Recuperado de <http://www.londoncharter.org/index.html>

ADAMS, J., BECKER, S., CUMMINS, M., ESTRADA, V., FREEMAN, A., HALL, C. (2016). NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación. Austin: The New Media Cpnsortium.

ADDISON, A. C. (2000). Emerging Trends in Virtual Heritage. IEEE Multimedia, 7, 22-25.

AFFLECK, J. & KVAN, T. (2008) Memory Capsules: Descriptive Interpretation for Cultural Heritage through New Media. Nueva York. Routledge.

ALVARADO, G., & HERRERA, I. (2001). Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000. Programa de Emergencia por Desastres Naturales. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

ÁLVAREZ, C. (1997). Diccionario etnolingüístico del idioma maya yucateco colonial (Vol. II). México: UNAM.

AROCENA, R. (2014). La investigación universitaria en la democratización del conocimiento. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, 9(27), 85-102.

- BARRIOS VILLAR, E. (2010). Arquitectura, restauración y función simbólica de la crestería del Templo IV de Tikal, Flores, Peten. Guatemala: Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos.
- BENAVIDES LÓPEZ, J. A. (2017). Nuevas Tecnologías aplicadas a la Documentación Gráfica del Patrimonio (tesis doctoral). Granada: Universidad de Granada.
- BENTKOWSKA KAFEL A, MACDONALD L. (2009). Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage. Reino Unido. ARC Humanites Press.
- BERCIGLI M. (2019). Dissemination strategies for cultural heritage: the case of the tomb of Zechariah in Jerusalem. Israel. Heritage 2019.
- BOBERG, J. (2004). About rebirth of a world view. En H. Prigann, Ecological aesthetics. Art in enviromental design: Theory and practice. Suiza: Birkhauser.
- BOOT, E. (2000). Architecture and Identity in the Northern Maya Lowlands: The Temple of K'uk'ulkan at Chich'en Itza, Yucatan, Mexico. Acta Mesoamericana , 183 - 204.
- BRANDI, C. (1972). Carta del Restauo 1972. Teoría de la restauración, 149.
- BRAUDEL, F. (1987). El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- BURDICK, A., DRUCKER, J., LUNENFELD, P., SCHNAPP, J. (2012). Digital Humanities. Massachusetts Institute of Technology.
- CABEZA, A. (1994). Elementos de arquitectura de paisaje . México: Trillas.
- CAINE, A., FINDLAY, C., HOWELL, A. (2007). Preservation Solutions Australia. Noumea: ED. UNESCO.
- CALLAWAY, C. (2006). The Maya Cross at Palenque: A Reappraisal. Austin, Tx: Tesis de maestría, Universidad de Texas.
- CHING, F. (1979). Architecture: form space and order. USA: An Nostrand reinhold.
- CHOAY, F. (2007). Alegoría del Patrimonio. Barcelona: Gustavo Gili.
- COEGGINGS, C. (1980). The Shape of Time. Some Political Implications of a Four Part Figure. American Antiquity, 727 - 739.
- COLLINET, J. (1997). Potencialidades y limitantes de algunos suelos en San miguel La Palotada, el Petén, Guatemala. Costa Rica: CATIE. Recuperado el 01 de 03 de 2022, de <https://books.google.com.mx/books?id=i8A41Nut4MUC&pg=PR7&lpg=PR7&dq=g+eologia+>

CRISTINELLI, G. (2004). Fundamentos, fines y ámbitos de la intervención para la conservación en la Carta de Cracovia. PH. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 50, 51-59.

FIALKO, V., & RAMÍREZ BALDIZÓN, F. (2014). Exploraciones en la cuenca baja del río Holmul, noreste de Petén, Guatemala: Chanchich-Benchua y Witznah. En B. Arroyo, L. Méndez Salinas, A. Rojas, & A. Tikal (Ed.), XXVII Simposio de Investigaciones (págs. 783 - 794). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología. Recuperado el 29 de 02 de 2022, de <https://www.asociaciontikal.com/simposio-27-ano-2013-2/063-exploraciones-en-la-cuenca-baja-del-rio-holmul-noreste-de-peten-guatemala-chanchich-benchua-y-witznah-vilma-fialko-y-fredy-ramirez-baldizon-simposio-27-2013/>

FLANDERS, J., PIEZ, W., TERRAS, M. (2007). Welcome to Digital Humanities Quarterly. Digital Humanities Quarterly, 1(1), en línea. Recuperado de <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/001/1/000007/000007.html>

FORTE, M. (2011). Cyber-Archaeology. BAR International Series. British Archaeological Reports Oxford Ltd.

FORTE, M., LECLANT, J. (1996). Arqueología: paseos virtuales por las civilizaciones desaparecidas. Barcelona: Grijalvo.

FUENTE DE LA, B. (2002). El arte como expresión de lo sagrado. En M. Garza, & M. Najera, Enciclopedia Iberoamericana de Religiones. Religión Maya (Vol. 2). Madrid: Trotta.

GALINA-RUSELL, I. (2011). ¿Qué son las Humanidades Digitales? Revista Digital Universitaria, 12(7), 3-8.

GALINA-RUSSELL, I. (2012). Retos para la elaboración de recursos digitales en humanidades. El Profesional de la Información, 21(2), 185-189.

GARCÍA CUETOS, M. P. (2012). El patrimonio cultural. Conceptos básicos. Zaragoza. Prensa Universitaria de Zaragoza.

GARCÍA, E. (2004). Sistema de clasificación climática de Köppen modificada. México: IG/UNAM.

GILLINGS, M. (2000) Plans, Elevations and Virtual Worlds: The Development of Techniques for the Routine Construction of Hyperreal Simulation in Barcelo, Virtual Reality in Archaeology. Inglaterra, Archaeopress.

GÓMEZ ROBLES, L., QUIROSA GARCÍA, V. (2009). Nuevas tecnologías para difundir el Patrimonio Cultural: las reconstrucciones virtuales en España. e-rph. Revista electrónica del patrimonio, 4, 1-23. Recuperado de <http://www.revistadepatrimonio.es/revistas/numero4/estudiosgenerales/estudios/articulo.php>

GÓMEZ, O. (1996). Calzadas Mayas: un estudio desde el sureste de Petén. En J. Laporte, & H. Escobedo, IX Simposio de Investigaciones Arqueológicas 1995 (Vol. 1, págs. 115 - 129). Guatemala: Ministerio de Cultura y Deporte/IDAEH, Asociación Tikal.

GONZÁLEZ-BLANCO GARCÍA, E. (2016). Un nuevo camino hacia las humanidades digitales: el Laboratorio de Innovación en Humanidades Digitales de la UNED (LINHD). Signa: Revista de la Asociación Española de Semiótica, 25, 79-93.

HASIER, M. (2014). Iniciación a la Programación Informática en Educación Primaria con Scratch (Universidad Pública de Navarra). Recuperado de <http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/14363/TFG14-Gpri-MORRAS-44940.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HERNÁNDEZ CARDONA, F. X. (2003). El Patrimonio como recurso en la enseñanza de las Ciencias Sociales. En E. Ballesteros Arranz, C. Fernández Fernández, J. A. Molina Ruiz y P. Moreno Benito (Eds.), El Patrimonio y la Didáctica de las Ciencias Sociales. España. Universidad de Castilla – La Mancha

HERRERA VILLATORO, L. (2005). Caracterización e investigación geológica de los materiales. Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Facultad de Ingeniería.

HOCKEY, S. (2004). The History of Humanities Computing. En S. Schreibman, R. Siemens, & J. Unsworth (Eds.), Companion to Digital Humanities (pp. 3-19). Blackwell Publishing.

HOHMANN, H. (1989). Representations of litters which are copies of buildings or seating accommodation. Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana(11).

HORNBY, A. (2009). Oxford advanced learner's dictionary of current English. Inglaterra. Oxford University Press.

IBM. (1968). Statistical Package for the Social Sciences (p. en línea). p. en línea. Recuperado de <https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>

ICOMOS. (1964). Carta de Venecia.

ICOMOS. (1987). Carta Internacional Para La Conservación De Ciudades Históricas Y Áreas Urbanas Históricas (Carta De Washington 1987) Principios Y Objetivos. 3. Recuperado de https://www.icomos.org/charters/towns_sp.pdf

ICOMOS. (1990). Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico.

ICOMOS. (1999). Carta del Patrimonio Vernáculo Construido.

- JONES, C., & SATTERTHWAIT, L. (1982). The Monuments and Inscriptions of Tikal: The Carved Monuments. Tikal Report No.33, University of Pennsylvania, The University Museum, Pennsylvania. E.U.
- KAPTELININ, V., NARDI, B. A. (2006) Do We Need Theory in Interaction Design. Massachusetts. MIT Press.
- LAPORTE, J. (1988). Alternativas del Clásico Temprano en la relación Tikal - Teotihuacan. Mexico: Tesis doctoral UNAM.
- LEÓN, A. J. (2006). Preservación digital vs obsolescencia de la información. Apertura, 3, 100-107.
- LLORENS LARGO, F., GARCÍA PEÑALVO, F. J., MOLERO PRIETO, X., VENDRELL VIDAL, E. (2017). La enseñanza de la informática, la programación y el pensamiento computacional en los estudios preuniversitarios. Education in the Knowledge Society (EKS), 18(2), 7-17.
- LOGAN WS. (2007) Closing pandoras box: human rights conundrums in cultural heritage. Nueva York: Cultural heritage and human rights.
- LÓPEZ DE JUAMBELZ, R. (2005). Taludes: aspectos formales y técnicos. México: FA/UNAM.
- LÓPEZ DE JUAMBELZ, R. (2012). Análisis Ambiental. Herramienta de diseño para la intervención del paisaje a escala regional. En M. Mazari H., & G. Wiener C, Arquitectura de Paisaje Obras, Proyectos y Reflexiones (Vol. IV, págs. 301 - 317). México: FA/UNAM.
- LÓPEZ MORALES, F. J. (2016). La Carta de Venecia en el siglo XXI. Revista Gremium, 3(5), 29-39.
- LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V. M. (2011). Propuesta para profundizar en La Carta de Londres y mejorar su aplicabilidad en el campo del patrimonio arqueológico. Virtual Archaeology Review, 2(4), 65-69.
- LOWE, D. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. En The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, Vol. 2 (pp. 1150-1157). Washington: IEEE Computer Society.
- LOWE, D. (2004). Distinctive Image Features from. International Journal of Computer Vision, 60(2), 91-110.
- MARQUINA, I. (1964). Arquitectura Prehispánica. México: INAH/SEP.
- MARSH, T., WRIGHT, P., SMITH, S. (2001). Evaluation for the Design of Experience in Virtual Environments: Modeling Breakdown of Interaction and Illusion. CyberPsychology & Behavior.

MARTÍNEZ JUSTICIA, M. J. (1996). Antología de textos sobre Restauración. Jaén: Universidad de Jaen. Servicio de publicaciones e intercambio.

MATTHIAE, P. (2015). Druzioni Saccheggi e Rinascite. Gli attacchi al patrimonio artistico dall'antichità all'Isis. Milano: Mondadori Libri.

MAX-NEEF, M., ELIZALDE, A., HOPENHAYN, M. (2008). Desarrollo a escala humana: Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. Madrid: Biblioteca CF

MEM. (06 de 2015). Ministerio de Energía y Minas. Recuperado el 05 de 04 de 2022, de Gobierno de Guatemala: https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/1.-Cuenca-Peten.pdf?__cf_chl_jschl_tk__=e7fa5fe23f033c79e250e33899cb92402087f49e-1586109470-0-AW1Q1x3Qb0UTFYnU0Xc_qr1DmU8SCsn1aB7Prytyond3-BDdm8YyWPGrg8f8_q9sXm1B27hDvulHPwjH7JQz-l7qVisVGevJegt-5xGCy5ZfCan

MONTERROSO, J. (2001). Protección y conservación del patrimonio. Principios teóricos. Santiago de Compostela: Andavira Editora.

MORSELLI BARBIERI, S. (12 de julio de 2022). Comunicación personal. (I. Sainz Arellano, Entrevistador)

MORSELLI BARBIERI, S. (2013). El dintel 3 del Templo IV de Tikal: análisis iconográfico y simbólico de la representación. México: Tesis Doctoral, UNAM.

NOVELO RETANA, A. (2006). Plantas acuáticas de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla. México: ENDESU/UNAM.

ORTIZ AGUILÚ, J.J. (1986). La "alta tecnología" en arqueología usos y manipulación ideológica. Boletín de Antropología Americana, 14, 111-114.

PARRY, R. (2007). Recoding the Museum : Digital Heritage and the Technologies of Change. Nueva York. Routledge.

PONCIANO, E., LÓPEZ, J., MAZARIEGOS, N. (2011). Arquitectura monumental en la dedicación de templos dinásticos, Templo IV, Tikal, Petén. En XXV Simposio de Investigaciones Arqueológicas. Guatemala.

PREECE, J., BENYON, D., DAVIES, G., KELLER, L., PREECE, J. & ROGERS, Y. (1993). A Guide to Usability: Human Factors in Computing. Inglaterra. Addison-Wesley.

PRESNER, T., SCHNAPP, J., LUNENFELD, P. (2009). The Digital Humanities Manifesto. Context. Recuperado de <http://tcp.hypotheses.org/411>

RAISZ, E. (1964). Landforms of Mexico (mapa en escala 1:3 000 000). Cambridge, Mass. : Office of Naval Research.

- REILLY, P. (1991). Towards a Virtual Archaeology. En S. Rahtz & K. Lockyear (Eds.), CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990 (BAR International Series 565) (pp. 132-139). Oxford: Tempus Reparatum.
- RENFREW, C., & BAHN, P. (1991). Archaeology: Theories, Methods and Practice. London: Thames and Hudson Ltd.
- RODAS, I., & LAPORTE, J. (1994). Aktun Ak'Ab: Una cueva asociada al sistema hidrológico de la cuenca del alto río Mopan. En J. Laporte, & H. Escobedo, VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, (págs. 530 - 539). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología. Recuperado el 29 de 02 de 2022, de <http://www.asociaciontikal.com/wp-content/uploads/2018/02/41.94-Rodas-y-Laporte.pdf>
- ROJAS CASTRO, A. (2013). Las Humanidades Digitales: principios, valores y prácticas. Janus, 2, 74-99. Recuperado de <http://www.unav.edu/publicacion/biblioteca-aurea-digital/BIADIG-22%5Cnhttp://conference.ifla.org/past-wlic/2011/104-russell-es.pdf%5Cnhttp://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/002/1/000020.html%5Cnhttp://revistacaracteres.net/revista/vol2n2noviembre2013/el>
- ROMÁN GONZALEZ, M. (2016). Códigoalfabetización y pensamiento computacional en Educación Primaria y Secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas. Madrid: UNED. Recuperado de <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Educacion-Mroman>
- ROMERO FRÍAS, E. (2014). Ciencias Sociales y Humanidades Digitales: una visión introductoria. En E. Romero Frías y M. Sánchez González (Eds.), Ciencias Sociales y Humanidades Digitales. Técnicas, herramientas y experiencias de e-Research e investigación en colaboración. CAC, Cuadernos Artesanos de Comunicación, 61 (p. 307). La Laguna: Drago.
- ROSENTHAL, D. (2010). Format obsolescence: assessing the threat and the defenses. Library Hi Tech, 28(2), 195-210.
- ROUSSOU, M. (2008). The Components of Engagement in Virtual Heritage Environments. Nueva York. Routledge.
- SCHREIBMAN, S., SIEMENS, R., & UNSWORTH, J. (2004). A Companion to Digital Humanities. Nueva Jersey: Blackwell Publishing. Recuperado de: <http://www.digitalhumanities.org/companion/>
- SEAV, FIAV. (2011). Principios de Sevilla. 10. Recuperado de <http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>
- SETTIS, S. (2007). L'assalto al Patrimonio Culturale. Piccola Biblioteca Einaudi.

- SHARER, R. (1999). *La Civilización Maya*. Mexico: FCE.
- SIRE, M.A. (1996). *La France du Patrimoine. Les choix de la mémoire*. Paris: Découvertes Gallimard.
- SOTELO S., L. (2002). Los dioses: energías en el espacio y en el tiempo. En M. Garza, & M. Najera, *Enciclopedia Iberoamericana de Religiones*. Madrid: Trotta.
- SVENSSON, P. (2009). Humanities Computing as Digital Humanities. *Digital Humanities Quarterly*, 3(3), en línea. Recuperado de <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/3/3/000065/000065.html>
- TAN, B. K., RAHAMAN, H. (2009) *Virtual Heritage: Reality and Criticism*. Canada. CAADfutures
- TEJADO SEBASTIÁN, J. M. (2005). Escaneado En 3D Y Prototipado De Piezas Arqueológicas: Las Nuevas Tecnologías En El Registro, Conservación Y Difusión Del Patrimonio Arqueológico. *Iberia. Revista de la Antigüedad*, 8, 135-158. Recuperado de <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/iberia/article/view/303/285>
- TERRAS, M., NYHAN, J., VANHOUTTE, E. (2013). *Defining Digital Humanities*. New York: Ashgate Publishing.
- THORNTON, M. (2007). Think Outside the Square You Live In: Issues of Difference and Nation in Virtual Heritage. Australia. 13th international conference on Virtual System and Multimedia (VSMM 2007).
- TILDEN, F. (1977). *Interpreting Our Heritage*. Estados Unidos. University of North Carolina Press.
- TOST, L. P, Champion, E. M. (2007). A Critical Examination of Presence Applied to Cultural Heritage. The 10th Annual International Workshop. Barcelona, En prensa.
- TUNBRIDGE, J. E. & ASHWORTH, G. J. (1996). *Dissonant Heritage: The Management of the Past as a Resource in Conflict*, Nueva York. J. Wiley.
- TUROW, J., TSUI, L. (2008). *The Hyperlinked Society: Questioning Connections in the Digital Age*. University of Michigan Press.
- U.E. (2000). Hacia una estrategia europea sobre conservación preventiva. En *Hacia una Estrategia Europea sobre Conservación Preventiva*. Adoptada en la reunión de Vantaa 21-22 septiembre 2000. Recuperado de <http://ge-iic.com/files/grupoconservacionpre/RESOLUCIONDEVANTA.pdf>
- UNESCO (1954). *Convención de la haya, 1954*.
- UNESCO (1973). *Actas Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural 1972*.

UNESCO (1999). Segundo Protocolo de la Convención de la Haya de 1954 para la Protección de los Bienes Culturales en caso de Conflicto Armado, La Haya, 26 de marzo de 1999. La Haya.

UNESCO (2002a). Declaración de Budapest sobre el Patrimonio Mundial.

UNESCO (2002b). Declaración de Budapest sobre la Universalidad. Budapest.

UNESCO, & ICOMOS. (2000). Carta de Cracovia, principios para la conservación y restauración del patrimonio construido. Cracovia.

UNESCO. (2003). Records of the General Conference, 32nd session, Paris, 29 September to 17 October 2003, v. 1: Resolutions. París.

VALDÉS, J., & AGURCIA, R. (1994). secretos de dos ciudades mayas: Copan y Tikal. Costa Rica: La Nación.

VINIEGRA, F. (1981). El gran banco calcáreo yucateco. Revista Ingeniería(1), 20 - 44.

WILLIAMSON, A. (2015). Strategies for managing digital content formats. Library Review, 54(9), 508-513.

WRB. (2007). Base referencial mundial del recurso suelo. Un marco conceptual para la clasificación, correlación y comunicación internacional. International Union of Soil Science/World Soil Information/FAO. Roma: FAO.